

(19) Japan Patent Office (JP)

(12) Publication of Patent Application (A)

(11) Publication Number of Patent Application: 2000-283889

(43) Date of Publication of Application: October 13, 2000

(51) Int. Cl.7: Domestic Classification Symbol

G01M 11/02

H01L 21/027

FI:

G01M 11/02 B

H01L 21/30 516 A

516 D

Theme Code (reference): 2G086

5F046

Request for Examination: Not made

Number of Claims: 8 OL (17 pages in total)

(21) Application Number: Patent Application 11-92111

(22) Application Date: March 31, 1999

(71) Applicant: 000004112

Nikon Corporation

2-3, Marunouchi 3-chome, Chiyoda-ku, Tokyo

(72) Inventors: Yusuke Shimizu

c/o Nikon Corporation

2-3, Marunouchi 3-chome, Chiyoda-ku, Tokyo

(74) Agent: 100068755

Patent Attorney, Hironobu Onda

F Term (reference) : 2G086 HH06
5F046 BA04 BA05 CB05 CB23 CB25
CC01 CC02 CC05 CC18 DA13
DA14 DA27 DB01 DC12

(54) [Title of the Invention]

INSPECTION APPARATUS AND INSPECTION METHOD OF PROJECTION
OPTICAL SYSTEM, EXPOSURE APPARATUS, AND METHOD OF
MANUFACTURING MICRODEVICE

(57) [Abstract]

[Problem]

An inspection apparatus and an inspection method by which an effect of vibration with low frequency during inspection of a projection optical system can be eliminated without using an expensive vibration removing device, an exposure apparatus by which accurate exposure can be performed, and furthermore a method of manufacturing a microdevice in which a yield in product can be improved.

[Means for resolution]

A test pattern formed on a test reticle Rt is projected onto a light receiving surface 42 of an image pickup mechanism 41 via an objective projection optical system PLe. Light receiving time of a projection image on the light receiving surface 42 is changed for each aberration to be measured. Here, when an aberration obtained based on contrast of the projection

image is measured, the light receiving time is set to be about half a period of vibration with minimum frequency among vibrations acting on an inspection apparatus body 22. When an aberration obtained based on a coordinate position of the projection image is measured, the light receiving time is set to be about a period of the vibration with minimum frequency.

[Claims]

[Claim 1]

An inspection apparatus of a projection optical system, having an illumination optical system for illuminating an inspection mask having an inspection pattern, a projection optical system for projecting the inspection pattern onto a predetermined surface, and measurement means for measuring an imaging characteristic of the projection optical system based on a projection image of the inspection pattern projected onto the predetermined surface, characterized by:

including control means of changing projection time of the projection image projected onto the predetermined surface depending on at least one of a kind of the imaging characteristic of the projection optical system to be a measurement object of the measurement means, and a characteristic of vibration acting on the inspection apparatus.

[Claim 2]

The inspection apparatus of the projection optical system according to claim 1, characterized in that:

detection means for detecting the characteristic of the vibration is further provided.

[Claim 3]

The inspection apparatus of the projection optical system according to claim 1 or 2, characterized in that:

a light receiving surface for receiving light of the projection image is disposed on the predetermined surface.

[Claim 4]

The inspection apparatus of the projection optical system according to claim 3, characterized in that:

the control means changes light receiving time on the light receiving surface as the projection time.

[Claim 5]

The inspection apparatus of the projection optical system according to any one of claims 1 to 4, characterized in that:

means of changing the quantity of light for changing the quantity of light of a light beam injected to the light receiving surface is further provided.

[Claim 6]

An inspection method of a projection optical system, which projects an inspection pattern formed on an inspection mask onto a predetermined surface via a projection optical system, and measures imaging characteristic of the projection optical system based on a projection image of the inspection pattern by measurement means, characterized in that:

projection time of the projection image projected onto the predetermined surface is changed depending on at least one of a kind of imaging characteristic of the projection optical system to be measured by the measurement means, and a

characteristic of vibration acting when the inspection pattern is projected onto the predetermined surface.

[Claim 7]

An exposure apparatus for transferring a pattern formed on a mask onto a substrate via a projection optical system, characterized by:

having the inspection apparatus of the projection optical system according to any one of the claims 1 to 5, and

correction means for correcting an imaging characteristic of the projection optical system based on an inspection result of the inspection apparatus.

[Claim 8]

A method of manufacturing a microdevice, which transfers a device pattern formed on a mask onto a substrate via a projection optical system to form a predetermined circuit pattern on the substrate, characterized in that:

projection time of a projection image of an inspection pattern projected onto a predetermined surface is changed depending on at least one of a kind of imaging characteristic of the projection optical system to be a measurement object, and a characteristic of vibration acting when an inspection pattern on an inspection mask is projected onto the predetermined surface via the projection optical system, then the inspection pattern is projected onto the predetermined surface, and then an imaging characteristic of the projection

optical system is measured based on a projection image after the projection time is changed, and then the imaging characteristic of the projection optical system is corrected based on a result of measurement, and then the device pattern of the mask is transferred onto the substrate.

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Technical Field to which the Invention Belongs]

The present invention relates to an exposure apparatus used in a photolithography step in a manufacturing process of a microdevice such as a semiconductor element, a liquid crystal display element, a thin-film magnetic head, or an image pickup element, and a mask such as reticle or photomask, and an inspection apparatus and an inspection method of a projection optical system used in the exposure apparatus, and furthermore relates to a method of manufacturing the microdevice.

[0002]

[Prior Art]

As this kind of exposure apparatus, for example, the following apparatus is known. That is, predetermined illumination light is irradiated to a circuit pattern formed on a mask such as reticle or photomask, and then an image of the circuit pattern is projected and transferred onto a substrate such as wafer or glass plate via a projection optical system. Here, when aberration exists in the projection

optical system, a projection image of the circuit pattern formed via the projection optical system is distorted, consequently a yield in product substrate may be reduced. Therefore, various inspection methods and inspection apparatuses are used to measure the aberration in the projection optical system.

[0003]

In particular, in a semiconductor element manufactured by transferring a circuit pattern formed on a reticle to a wafer, as a degree of integration has been significantly increased in recent years, a large number of circuit patterns being different from one another are superimposed in layers while the patterns are aligned with one another. Therefore, the aberration in the projection optical system is required to be measured more strictly in the light of securing superposition accuracy.

[0004]

As an inspection method of the projection optical system, for example, the following method is known. That is, in the method, a projection image of an inspection pattern formed on an inspection mask is formed on an image pickup mechanism disposed such that a light receiving surface is situated on a conjugate surface (image surface) of an objective projection optical system via the objective projection optical system. Then, the projection image of the pattern is taken by the image

pickup mechanism, and then the taken projection image is subjected to image processing, thereby the aberration in the projection optical system is inspected. The image pickup mechanism is disposed on an XYZ triaxial moving stage (hereinafter, called "XYZ stage") by which a moving distance can be measured using a laser gauge interferometer or the like.

[0005]

As an item causing distortion of the projection image in the projection optical system, so-called "Seidel' five aberrations" (spherical aberration, coma aberration, astigmatism, curvature of image field, and distortion) is given. A dark line pattern or a bright line pattern of lines and spaces (hereinafter, called "L · S") is used for inspection of the aberrations as the inspection pattern, in which a plurality of linear marks are repeatedly disposed at a certain interval. A large number of the L · S patterns are formed on the inspection mask with a certain distance.

[0006]

Among the five aberrations, the spherical aberration, coma aberration, astigmatism, and curvature of image field are obtained through inspection based on contrast in brightness on a projection image of the L · S pattern taken by the image pickup mechanism. A best focus position to be a reference for measurement needs to be obtained to maximize the contrast. In detection of the best focus position, while a focus position

of the objective projection optical system is changed by moving a light receiving surface of the image pickup mechanism along a light axis of the objective projection optical system, the projection images are sequentially taken. Then, contrast on the projection image is measured in each of the focus positions, and then a contrast-focus curve is calculated to obtain the best focus position.

[0007]

On the other hand, the distortion is obtained based on a coordinate position of the projection image of each of the L · S pattern in a projection region of the objective projection optical system. The coordinate position is obtained based on the position of the center of gravity of each of the projection images and a value read by the gauge.

[0008]

The inspection of the projection optical system as above is performed while the objective projection optical system is mounted on an exposure apparatus having the relevant projection optical system or on a special inspection apparatus. Moreover, inspection of the projection optical system, that is, measurement of each of the aberrations needs to be strictly performed to secure accurate exposure operation in the exposure apparatus.

[0009]

Here, the exposure apparatus and the inspection

apparatus are equipped with a vibration removing device to reduce an effect of vibration transmitted from the outside to the apparatuses. This is because when vibration is transmitted to the exposure apparatus and the inspection apparatus while the projection image is taken, the projection image, which must be essentially rested, may fluctuate. When the projection image fluctuates in this way, since time for taking the projection image in the image pickup mechanism is extremely short, reduction in contrast or parallel displacement of the projection image itself may be caused. Consequently, the contrast or coordinate position of the projection image may not be accurately measured.

[0010]

As this type of vibration removing device, for example, a vibration removing stage is known, the stage being disposed between the exposure apparatus and the inspection apparatus and a floor for setting the apparatuses. The vibration removing stage has a plurality of legs for accommodating a cushion member therein, and a setting table for setting the exposure apparatus and the inspection apparatus. The setting table is connected to the cushion member via a connection member so that the exposure apparatus and the inspection apparatus are set in a floating condition from the floor for setting. As the cushion member, a coil spring is used, which evenly displaces against a load. Such a vibration removing stage is

a so-called passive vibration removing stage which removes vibration using only a characteristic frequency of the coil spring.

[0011]

The exposure apparatus and the inspection apparatus are typically arranged in a constant-temperature room to eliminate environment dependence of size of each member configuring the apparatuses to accurately measure a coordinate position of the projection image.

[0012]

[Problems that the Invention is to Solve]

The passive vibration removing stage having a usual configuration effectively removes vibration having a comparatively high frequency such as 50 Hz or higher. However, in environment surrounding the exposure apparatus and the inspection apparatus, vibration having the frequency or lower (for example, frequency of about 23 Hz or 48 Hz) is generated, for example, from air conditioning equipment in the constant-temperature room. Moreover, vibration having a low frequency similar to that as described before may be generated from a crane used in carrying the exposure apparatus and the inspection apparatus, or used in exchange of the object projection optical system in the inspection apparatus. Furthermore, generally, a floor of a building in which the exposure apparatus and the inspection apparatus are disposed

are often designed to have a characteristic frequency of about 10 Hz for countermeasures of earthquake or the like.

[0013]

In this way, in environment surrounding the exposure apparatus and the inspection apparatus, single vibrations with various frequencies are generated at the same time. When the single vibrations are superposed, a synthesized vibration with further low frequency is generated, which has a beat frequency near the characteristic frequency of the coil spring. Such single vibration and synthesized vibration with low frequency are hard to be sufficiently removed only by the usual passive vibration removing stage. There has been a problem that when both the vibrations are transmitted to the exposure apparatus and the inspection apparatus, measurement accuracy in the contrast of the projection image or coordinate position may not be sufficiently secured.

[0014]

To perfectly remove both the vibrations with low frequency, for example, the following method is considered. That is, the exposure apparatus and the inspection apparatus are attached with a vibration sensor, so that a vibration transmitted to the apparatuses is detected. Then, a vibration in a phase opposite to a phase of the transmitted vibration is generated based on a detection result of the vibration sensor so that the transmitted vibration is cancelled. That is, a

so-called active vibration removing stage having such a canceling function is used.

[0015]

However, use of the active vibration removing stage, which actively provides the vibration in the opposite phase, causes a problem that the stage itself is extremely expensive, resulting in significant increase in manufacturing cost of the exposure apparatus and the inspection apparatus. Furthermore, it causes a problem that the vibration removing stage and a peripheral configuration of the stage become large, leading to a complicated configuration and increase in size of the exposure apparatus and the inspection apparatus.

[0016]

In addition, such an active vibration removing stage has a completely different configuration from a configuration of the passive vibration removing stage used in the exposure apparatus and the inspection apparatus having the usual configuration. Therefore, it is not easy that the active vibration removing stage is additionally equipped, or the passive vibration removing stage is replaced by the active vibration removing stage in the exposure apparatus and the inspection apparatus having the usual configuration.

[0017]

The invention was made aiming to the problem in such a prior art. An object of the invention is to provide an

inspection apparatus and an inspection method of a projection optical apparatus, which can eliminate an effect of vibration with low frequency during inspection of aberration in the projection optical apparatus without using an expensive vibration removing device. Another object of the invention is to provide an exposure apparatus by which the aberration in the projection optical apparatus can be accurately measured, and accurate exposure can be performed. Still another object of the invention is to provide a method of manufacturing a microdevice, in which a yield in product can be improved.

[0018]

[Means for Solving the Problems]

To achieve the objects, in an invention according to claim 1 of the application in connection with an inspection apparatus of a projection optical system, inspection apparatuses (21, 61) of projection optical systems (PLe, PL), which have an illumination optical system (32) for illuminating an inspection mask (Rt) having inspection patterns (PA1 to PA4, PB1 and PB2), projection optical systems (PLe, PL) for projecting the inspection patterns (PA1 to PA4, PB1 and PB2) onto predetermined surfaces (42, 87), and measurement means(53) for measuring imaging characteristics of the projection optical systems (PLe, PL) based on projection images of the inspection patterns (PA1 to PA4, PB1 and PB2) projected onto the predetermined surfaces (42, 87), are characterized

by including control means (52) of changing projection time of the projection images projected onto the predetermined surfaces (42, 87) depending on at least one of a kind of imaging characteristics of the projection optical systems (PLe, PL) to be a measurement object of the measurement means (53), and a characteristic of vibration acting on the inspection apparatus (21, 61).

[0019]

Here, as a result of various investigations, the inventor of the application found that, depending on whether an imaging characteristic as a measurement object was measured based on contrast of a projection image of an inspection pattern, or based on a coordinate position, a period of change in contrast or coordinate position was varied. In the invention according to claim 1 of the application, projection time of the projection image is changed depending on at least one of the kind of the imaging characteristics to be the measurement object, and the characteristic of the vibration acting on the inspection apparatus. Therefore, the projection images can be formed in a best condition for each kind of the imaging characteristics, or each characteristic of the acting vibration. Thus, an effect of vibration with low frequency can be eliminated without using an expensive vibration removing device, and consequently an imaging characteristic of the projection optical system can be accurately measured based on the

projection image.

[0020]

An invention according to claim 2 of the application is characterized in that, in the invention according to claim 1, detection means (63) for detecting the characteristic of the vibration is further provided.

[0021]

Therefore, in the invention according to claim 2 of the application, in addition to operation of the invention according to claim 1, a characteristic of vibration actually acting on the inspection apparatus can be detected by the detection means. In addition, projection time of the projection image is set depending on the characteristic of the vibration, thereby the imaging characteristics of the projection optical system can be measured further accurately.

[0022]

An invention according to claim 3 of the application is characterized in that, in the invention according to claim 1 or 2, light receiving surfaces (42, 87) for receiving light of the projection image are disposed on the predetermined surfaces.

[0023]

Therefore, in the invention according to claim 3 of the application, in addition to operation of the invention according to claim 1 or 2, an imaging condition of the

projection optical system can be measured in accordance with a use condition of the projection optical system.

[0024]

An invention according to claim 4 of the application is characterized in that, in the invention according to claim 3, the control means (52) changes light receiving time on the light receiving surfaces (42, 87) as the projection time.

[0025]

Therefore, in the invention according to claim 4 of the application, the light receiving time of the projection image can be adjusted for each imaging characteristic of the measurement object depending on contrast of the projection image of the inspection pattern and a period of change in coordinate position. Thus, variation in contrast of the projection image as a base of measurement of each imaging characteristic by the measurement means and parallel displacement of the projection image itself can be averaged.

[0026]

In the invention according to claim 4 of the application, in addition to operation of the invention according to claim 3, the effect of the vibration with low frequency during measuring the imaging characteristic of the projection optical system can be eliminated in a simple configuration where light receiving time of the projection image of the inspection pattern is simply changed.

[0027]

An invention according to claim 5 of the application is characterized in that, in the invention according to any one of claims 1 to 4, means of changing the quantity of light (43, 33) for changing the quantity of light of a light beam injected to the light receiving surfaces (42, 87) are further provided.

[0028]

When the projection image of the inspection pattern is taken using an image pickup element (CCD) or the like before measuring the imaging characteristic by the measurement means, the CCD may be saturated depending on length of time for storing the projection image. On the contrary, in the invention according to claim 5 of the application, in addition to operation of the invention according to any one of claims 1 to 4, the quantity of light of the projection image projected onto the light receiving surface can be adjusted by the means of changing the quantity of light. Therefore, the CCD can be avoided from being saturated unlike the above, and consequently the imaging characteristic of the projection optical system can be accurately measured.

[0029]

In an invention according to claim 6 of the application in connection with an inspection method of a projection optical system, an inspection method of projection optical systems (PL_e, PL), which projects inspection patterns (PA1 to PA4, PB1 and

PB2) formed on an inspection mask (R_t) onto predetermined surfaces (42, 87) via the projection optical systems (PLe, PL), and measures imaging characteristics of the projection optical systems (PLe, PL) based on projection images of the inspection patterns (PA1 to PA4, PB1 and PB2) by measurement means (53), is characterized in that projection time of the projection images projected onto the predetermined surfaces (42, 87) is changed depending on at least one of a kind of imaging characteristics of the projection optical systems (PLe, PL) to be measured by the measurement means (53), and a characteristic of vibration acting when the inspection patterns (PA1 to PA4, PB1 and PB2) are projected onto the predetermined surfaces (42, 87).

[0030]

Therefore, in the invention according to claim 6 of the application, the same operation as in the invention according to the claim 1 is exhibited. In an invention according to claim 7 of the application in connection with an exposure apparatus, an exposure apparatus (71) for transferring a pattern formed on a mask (R) onto a substrate (W) via a projection optical system (PL), is characterized by having the inspection apparatus of the projection optical system according to any one of the claims 1 to 5, and correction means (89, 92, 93) for correcting imaging characteristic of the projection optical system (PL) based on an inspection result of the

inspection apparatus.

[0031]

Therefore, in the invention according to claim 7 of the application, the imaging characteristic of the projection optical system can be accurately measured without using an expensive vibration removing device, consequently accurate exposure operation can be ensured. Thus, a yield in product substrate can be improved.

[0032]

In an invention according to claim 8 of the application in connection with a method of manufacturing a microdevice, a method of manufacturing a microdevice, which transfers a device pattern formed on a mask (R) onto a substrate (W) via a projection optical system (PL) to form a predetermined circuit pattern on the substrate (W), is characterized in that projection time of projection images of inspection patterns (PA1 to PA4, PB1 and PB2) projected onto predetermined surfaces (42, 87) is changed depending on at least one of a kind of imaging characteristic of the projection optical system (PL) to be a measurement object, and a characteristic of vibration acting when inspection patterns (PA1 to PA4, PB1 and PB2) on an inspection mask (Rt) are projected onto the predetermined surfaces (42, 87) via the projection optical system (PL), then the inspection patterns (PA1 to PA4, PB1 and PB2) are projected onto the predetermined surfaces (42, 87), and then imaging

characteristic of the projection optical system (PL) is measured based on projection images after the projection time is changed, and then the imaging characteristic of the projection optical system (PL) is corrected based on a result of measurement, and then the device pattern of the mask (R) is transferred onto the substrate (W).

[0033]

Therefore, in the invention according to claim 8 of the application, the imaging characteristic of the projection optical system can be accurately measured without using an expensive vibration removing device, and consequently the imaging characteristic of the projection optical system can be accurately corrected based on a result of the measurement. Thus, a circuit pattern on a mask can be accurately transferred onto a substrate, and consequently a yield in product substrate can be improved.

[0034]

[Mode for Carrying Out the Invention]

First Embodiment

Hereinafter, an inspection apparatus and an inspection method of a projection optical system of the invention is described on a first embodiment specified to a special inspection apparatus according to Figs. 1 to 6.

[0035]

Fig. 1 is an outside view of an inspection apparatus being

partially cut out, and Fig. 2 is a view showing an outline of the inspection apparatus of Fig. 1. As shown in Fig. 1 and Fig. 2, an inspection apparatus 21 is configured by an inspection apparatus body 22 and a vibration removing stage 23. A lower stand 25 for removably holding an objective projection optical system PLe is vertically arranged on a base 24 of the inspection apparatus body 22. On the base 24, an XYZ stage 26 and a laser gauge interferometer (hereinafter, called "gauge") 27 are disposed. The XYZ stage 26 can be moved in a triaxial direction of X, Y, and Z by a stage drive section 28. On the XYZ stage 26, a pair of movable mirrors 29 are vertically arranged along an X direction and a Y direction. The gauge 27 is disposed so as to face the mirrors 29. The gauge 27 emits predetermined laser light to the movable mirrors 29, and measures a position in XY biaxial directions of the XYZ stage 26.

[0036]

Here, it is assumed that a direction along a light axis AX of the objective projection optical system PLe is a Z axis; a direction perpendicular to the light axis AX and along paper of Fig. 2 is an X axis; and a direction perpendicular to the light axis AX and paper of Fig. 2 is a Y axis. In Fig. 1 and Fig. 2, only the gauge 27 and the movable mirror 29 for measuring a position of the XYZ stage 26 in the X direction are shown.

[0037]

On the lower stand 25, an upper stand 30 is vertically arranged. On the upper stand 30, a reticle holder 31 is equipped above the objective projection optical system PLe, and a test reticle Rt as an inspection mask is held by vacuum adsorption on the reticle holder 31. The test reticle Rt is held such that the center of the test reticle is situated on the light axis AX of the objective projection optical system PLe.

[0038]

On the upper stand 30, an illumination optical system 32 for illuminating the test reticle Rt with predetermined illumination light IL is disposed above the test reticle Rt. The illumination optical system 32 includes a light source 33, fly-eye lens 34, relay lens 35, mirror 36, condenser lens 37 and the like.

[0039]

The light source 33 emits pulsed light of KrF excimer laser light, ArF excimer laser light, F2 excimer laser light or the like as the illumination light IL. The fly-eye lens 34 includes a number of lens elements, and a number of secondary light source images corresponding to respective lens elements are formed on an output surface of the lens. Then, the secondary light source images are superposed on the test reticle Rt via a synthesis system of the relay lens 35, mirror 36, and condenser lens 37, so that the light source illuminates

a surface on the test reticle Rt with uniform illumination distribution.

[0040]

A shutter mechanism 39 having a shutter 38 is attached to a bottom of the illumination optical system 32. The shutter 38 is extracted and retracted with respect to an optical path of the illumination light IL by a shutter drive section 40, so that the illumination light IL is intermittently irradiated onto the test reticle Rt.

[0041]

An image pickup mechanism 41 including an image pickup element (CCD) is disposed on the XYZ stage 26. The image pickup mechanism 41 is moved in the triaxial direction of X, Y, and Z in a projection feasible region of the objective projection optical system PLe by actuating the XYZ stage 26.

[0042]

An attenuation plate 43 as means of changing the quantity of light is provided between a light receiving surface 42 of the image pickup mechanism 41 and the objective projection optical system PLe. The attenuation plate 43 has a disk shape, wherein a plurality of attenuation filters 44 having different transmission factors from one another to the illumination light IL are arranged at a circumferentially equal angle interval. The attenuation plate 43 is rotated by an attenuation plate drive section 45, thereby each attenuation filter 44 is

corresponding to the light receiving surface 42 of the image pickup mechanism 41. Intensity of the illumination light IL injected to the light receiving surface 42 is adjusted through selection of an attenuation filter from the attenuation filters 44 having different transmission factors.

[0043]

The vibration removing stage 23 has a setting table 46 for setting the inspection apparatus body 22, wherein hollow cylindrical legs 47 are disposed so as to be corresponding to four corners of the setting table 46. A coil spring 48 having a predetermined spring constant is accommodated within each of the legs 47. The setting table 46 is connected to an upper part of the coil spring 48 via a connection member 49. The inspection apparatus body 22 is placed on the setting table 46 in a condition of floating from a floor FL at a place for setting the body. Here, the vibration removing stage 23 is the so-called passive vibration removing stage removing vibration by using only a characteristic frequency of the coil spring 48.

[0044]

Next, a configuration for measuring an imaging characteristic of the objective projection optical system PLe is described. As shown in Fig. 3 and Fig. 4, when the imaging characteristic is measured, a test reticle Rt is used, on which a plurality of test patterns PA1 to PA4, PB1 and PB2 as

inspection patterns are formed in an arranged manner. A set of the test patterns PA1 to PA4, PB1 and PB2 configure a test pattern group PG. On the test reticle Rt, a plurality of the test pattern groups PG are formed in the arranged manner at a predetermined interval with a two-dimensional dispersion. In the embodiment, in a pattern region PR on the test reticle Rt corresponding to the projection feasible region of the objective projection optical system PLe, the test pattern groups PG are formed at 13 places in total including a central portion of the region, four corners, middle portions between the four corners, and intermediate image height portions between the central portion and the four corners.

[0045]

The test patterns PA1 to PA4, PB1 and PB2 are dark line patterns of L•S in which a plurality of linear shade portions Ps are formed while being arranged with a certain interval. The test patterns PA1 to PA4 and the test patterns PB1, PB2 are different from each other in arrangement period (line width) of the shade portions Ps. Moreover, the test patterns PA1, PA2, PA3 and PA4, or the test patterns PB1 and PB2 are different from one another in arrangement direction of the shade portions Ps.

[0046]

As shown in Fig. 2, all of the stage drive section 28 for driving the XYZ stage 26, light source 33 for emitting the

illumination light IL, shutter drive section 40 for driving the shutter 38, and attenuation plate drive section 45 for driving the attenuation plate 43 are connected to the main control system 52 for controlling operation of the overall inspection apparatus body 22. That is, the XYZ stage 26, light source 33, shutter 38, and attenuation plate 43 are operated according to an instruction from the main control system 52.

[0047]

The gauge 27 is connected to a processing section 54 equipped in an aberration detection section 53 as measurement means via the main control system 52. From the gauge 27, information on a position in the X and Y directions of the XYZ stage 26 is outputted to the processing section 54 via the main control system 52. The stage drive system 28 is connected to the processing section 54 via the main control system 52. From the stage drive system 28, information on a position in the Z direction of the XYZ stage 26 is outputted to the processing section 54 via the main control system 52.

[0048]

The image pickup mechanism 41 is connected to the processing section 54 via a frame memory 55 equipped in the aberration detection section 53. Information on an image received by the image pickup mechanism 41 via the light receiving surface 42 is temporarily stored in the frame memory 55, then inputted into the processing section 54. The frame

memory 55 is connected with a monitor 56 for confirming a light receiving condition of the projection image of the pattern on the test reticle Rt in the image pickup mechanism 41.

[0049]

In the processing section 54, an imaging characteristic of the objective projection optical system PLe is measured based on the information on the received image inputted from the image pickup mechanism 41, and the information on the position of the XYZ stage 26 inputted from the gauge 27 and the stage drive system 28.

[0050]

The main control system 52 is connected with a storage device 57 storing information on opening time of the shutter 38 for each type of the imaging characteristic being the measurement object, and information on transmittance of the attenuation filter 44, which is changed per the opening time, and the like. A timer 58 is equipped in the main control system 52. Furthermore, a configuration is acceptable, in which a selection switch depending on a type of imaging characteristic being a measurement object is provided in the main control system 52, and the information on the opening time of the shutter 38 and the information on the transmittance of the attenuation filter 44 are called up from the storage device 57 according to an imaging characteristic selected by the selection switch.

[0051]

Next, operation of measuring the imaging characteristic of the objective projection optical system PLe is described. The main control system 52 instructs the stage drive section 28 to move the XYZ stage 26 to a predetermined position. Thus, the light receiving surface 42 of the image pickup mechanism 41 is made to be corresponding to one of projection images of the test patterns PA1 to PA4, PB1 and PB2 projected in the projection feasible region of the objective projection optical system PLe.

[0052]

Next, the main control system 52 reads information (the opening time of the shutter 38, the transmittance of the attenuation filter 44 and the like) necessary for measurement of the imaging characteristic for each type of the imaging characteristic from the storage device 57. Then, the main control system 52 instructs the attenuation plate drive section 45 to selectively dispose an optimum attenuation filter 44 on the light receiving surface 42. Moreover, the main control system 52 performs setting of the opening time of the shutter 38 in the timer 58. Then, the main control system 52 instructs the light source 33 to emit the illumination light IL.

[0053]

Then, the main control system 52 instructs the shutter drive section 40 to open the shutter 38, and the shutter 38

is opened. At the same time, the timer 58 starts timing. Thus, the projection images of the test patterns PA1 to PA4, PB1 and PB2 are projected onto the light receiving surface 42 of the image pickup mechanism 41 via the objective projection optical system PLe. Then, the projection images are taken and stored by the image pickup mechanism 41. After the time set in the timer 58 has passed, the main control system 52 instructs the shutter drive section 40 to close the shutter 38, and instructs the light source 33 to stop emission of the illumination light IL. Thus, the image pickup mechanism 41 stops taking of the projection images.

[0054]

Information on pictures of the projection images taken by the image pickup mechanism 41 is temporarily stored in the frame memory 55. At the same time, information on the position of the XYZ stage 26, that is, information on the position of the light receiving surface 42 is inputted into the processing section 54 from the gauge 27 and the stage drive section 28. Then, the processing section 54 measures the imaging characteristic of the objective projection optical system PLe based on those kinds of information.

[0055]

The imaging characteristic, that is, "Seidel' five aberrations" are roughly classified into the following two aberrations. One is an aberration in a light axis direction,

which is obtained based on contrast in brightness on the projection images taken by the image pickup mechanism 41. The aberration in the light axis direction includes the spherical aberration, coma aberration, astigmatism, and curvature of image field. The other is an aberration in a direction perpendicular to the light axis, which is obtained based on coordinate positions of the projection images. The aberration in the perpendicular direction includes distortion.

[0056]

A case of measuring the aberration in the light axis direction is described together with a method of measuring a best focus position. First, to measure the best focus position, the stage drive section 28 gradually moves the XYZ stage 26 with a predetermined interval along the light axis AX of the objective projection optical system PLe. Thus, the light receiving surface 42 of the image pickup mechanism 41 is gradually moved to change a focus position of the objective projection optical system PLe. At each of the focus positions, one of the test patterns PA1 to PA4, PB1 and PB2 is appropriately selected for each imaging characteristic to be measured as above, and a projection image of the pattern is detected.

[0057]

Here, for example, the test pattern as shown in Fig. 5(a) is assumed to be taken by the image pickup mechanism 41. In this case, theoretical light intensity distribution at the best

focus position of the projection image is as shown in Fig. 5(b). However, actually, even if the test pattern is taken via an objective projection optical system PLe in an ideal condition, a waveform of light intensity distribution obtained from a binary image due to shading of the projection image is as shown in Fig. 5(c). The waveform of the light intensity distribution is subtly changed due to the focus position or an aberration remained in the objective projection optical system PLe.

[0058]

The processing section 54 calculates amplitude of a main peak MP in a waveform of intensity distribution of light obtained in this way for each focus position, the light having passed through a translucent portion Pt of the test pattern PA1. Then, contrast is detected for each of the focus positions from the amplitude of the main peak MP at each focus position. Then, the processing section 54 calculates a correlation curve between the focus position and the contrast from a result of the detection, and sets a focus position at which the highest contrast is given as the best focus position.

[0059]

When the spherical aberration is measured, the test patterns having different line width from each other, for example, PA1 and PB1, or PA2 and PB2 are used to obtain best focus positions of the projection images of the respective test patterns PA1 and PB1, or PA2 and PB2. Then, difference between

the best focus positions is measured, thereby the spherical aberration is obtained.

[0060]

When the coma aberration is measured, at least one of the test patterns PA1 to PA4 in the test pattern group PG is used, the test patterns being disposed on the four corners of the pattern region PR on the test reticle Rt, or on the middle portions between the four corners. Then, difference in intensity between a pair of pseudo-peaks SP1 and SP2 (difference in peak height) ΔI is measured, the pseudo-peaks appearing at both ends of the main peak MP in the waveform of light intensity distribution at the best focus positions of the test patterns PA1 to PA4.

[0061]

Here, when the coma aberration is not found in the objective projection optical system PLe, difference in intensity do not appear between the pair of pseudo-peaks SP1 and SP2, as shown in Fig. 5(c). On the contrary, when the coma aberration is found in the objective projection optical system PLe, difference in intensity ΔI corresponding to a quantity of the coma aberration appears between the pair of pseudo-peaks SP1 and SP2, as shown in Fig. 5(d). Thus, measured difference in intensity ΔI between the pair of pseudo-peaks SP1 and SP2 is compared with a previously obtained, relational expression on intensity ΔI between the pair of pseudo-peaks SP1 and SP2

for each coma aberration quantity, thereby coma aberration in an arrangement direction of the test patterns PA1 to PA4 provided for measurement is obtained.

[0062]

When the astigmatism is obtained, the test patterns PA1 to PA4 in four directions different from one another are used. Here, a best focus position on a sagittal plane is obtained using the test pattern PA1, and a best focus position on a tangential plane is obtained using the test pattern PA2, respectively. Moreover, a best focus position in a 45° direction is obtained using the test pattern PA3, and a best focus position in a 135° direction is obtained using the test pattern PA4, respectively. Then, difference between the best focus positions on the sagittal plane and the tangential plane, and difference between the best focus positions in the 45° direction and the 135° direction are measured, thereby the astigmatism is obtained.

[0063]

When the curvature of image field is obtained, the astigmatism is measured for a plurality of test pattern groups PG including a test pattern group PG disposed in a central portion of the pattern region PR on the test reticle Rt. Then, displacement in best focus positions of projection images of respective test patterns PA1 to PA4 in a pattern group PG disposed in the periphery with respect to best focus positions of projection images of respective test patterns PA1 to PA4

in the pattern group PG disposed in the central portion is measured, thereby the curvature of image field is obtained.

[0064]

On the other hand, when the aberration in the perpendicular direction, that is, the distortion is measured, first, the XYZ stage 26 is moved by the stage drive section 28. Thus, at least one of projection images of the test patterns PA1 to PA4 in a test pattern group PGc situated in the central portion of the test reticle Rt as shown in Fig. 4 is allowed to be corresponding to the image pickup mechanism 41. When the projection image is taken by the image pickup mechanism 41, and stored in the frame memory 55, the processing section 54 calculates the position of the center of gravity of the projection image from a waveform of light intensity distribution of the projection image. Then, the gauge 27 is reset to zero with the position of the center of gravity as a position of center coordinates.

[0065]

Next, the XYZ stage 26 is moved in the XY biaxial directions, so that similar detection of the position of the center of gravity of the projection image is sequentially performed to at least one of the test patterns PA1 to PA4 in a plurality of test pattern groups PGc different from the test pattern group PGc situated in the central portion. At that time, in synchronization with taking of the projection image

by the image pickup mechanism 41, the main control system 52 instructs the gauge 27 to measure a position in the X and Y biaxial directions of the XYZ stage 26, and input a result of the measurement into the processing section 54. Thus, the position of the center of gravity of the projection images of the test patterns PA1 to PA4 in the test pattern groups PG is obtained as a coordinate position on a coordinate system with the position of the center of gravity of the projection images of the test patterns PA1 to PA4 in the test pattern group PGC disposed in the central position as the origin. Then, the processing section 54 measures difference between a coordinate position of each of the projection images and a lattice point in the ideal lattice, that is, a coordinate position of each projection image in the case that distortion is assumed to be not present in the objective projection optical system PLe, thereby the distortion is obtained.

[0066]

According to a result of an earnest investigation of the inventor of the application, it was found that when contrast of the projection image was measured, the contrast was varied every measurement mainly due to an effect of a single vibration with low frequency. Moreover, it was found that when the coordinate position of the projection image was measured, the projection image as a whole is displaced parallel in the XY plane mainly due to an effect of a synthesized vibration with

further low frequency produced by superposition of a plurality of the single vibrations.

[0067]

Here, as shown in Fig. 6, in the usual configuration, light receiving time of the projection image in the image pickup mechanism 41 is extremely short compared with a period of vibration with a minimum frequency among the synthesized vibration. On the contrary, light receiving time of the projection image in the image pickup mechanism 41 is lengthened, thereby the variation in contrast and the parallel displacement of the coordinate position can be significantly reduced. This is because fluctuation of the projection image due to the vibration with low frequency is averaged within the light receiving time of the projection image.

[0068]

To suppress the variation in contrast most effectively, the light receiving time is set to be a time approximately corresponding to half a period of the vibration with low frequency, or a time more than it. In this case, when the light receiving time is extremely long, the contrast is generally reduced. Therefore, the light receiving time is preferably in a range of one-fourth to three-fourths of the period of the vibration with low frequency, and further preferably in a range of one-third to two-thirds of the period of it.

[0069]

Moreover, to suppress the parallel displacement of the coordinate position most effectively, the light receiving time is set to be a time approximately corresponding to a period of the vibration with the minimum frequency in the synthesized vibration, or a time more than it, and preferably set in a range of two-thirds to four-thirds of the period of the vibration with the minimum frequency, and further preferably in a range of three-fourths to five-fourths of the period of it.

[0070]

Therefore, according to the first embodiment configured as above, the following advantages can be obtained.

(A) In the inspection apparatus 21 of the first embodiment, the main control system 52 changes the light receiving time of the projection images of the test patterns PA1 to PA4, PB1 and PB2 in the image pickup mechanism 41 depending on aberration in the objective projection optical system PLe to be measured. Here, in the aberrations (spherical aberration, coma aberration, astigmatism, and curvature of image field) in the light axis direction measured based on contrast of the projection images, the light receiving time is set to be at least approximately half the period of the vibration with the minimum frequency, which affects the measurement, in the synthesized vibration. Moreover, in the aberration (distortion) in the perpendicular direction measured based on the coordinate position of the projection

image, the light receiving time is set to be at least about a period of the vibration with the minimum frequency, which affects the measurement, in the synthesized vibration.

[0071]

Therefore, when the projection image is received by the image pickup mechanism 41, contrast being varied every measurement caused by fluctuation of the projection image and the parallel displacement of the projection image are averaged. Thus, the projection image in measurement of each aberration can be formed in a best condition at any time, consequently the effect of the vibration with low frequency can be eliminated.

[0072]

Therefore, each aberration in the objective projection optical system PL_e can be accurately measured based on the projection image. Consequently, significant increase in manufacturing cost in the inspection apparatus 21, or the vibration removing table 23 and the peripheral configuration of the table can be avoided from being complicated or increased in size.

[0073]

In addition, the effect of the vibration with low frequency can be eliminated in a simple configuration where the light receiving time of the projection images of the test patterns PA1 to PA4, PB1 and PB2 is simply changed. Therefore,

an inspection apparatus 21 that can accurately inspect the objective projection optical system PLe can be achieved without causing increase in number of components or a complicated configuration.

[0074]

(B) In the inspection apparatus 21 of the first embodiment, the light receiving surface 42 of the image pickup mechanism 41 for receiving light of the projection images of the test patterns PA1 to PA4, PB1 and PB2 is disposed on the image surface of the objective projection optical system PLe. Therefore, each aberration in the objective projection optical system PLe can be easily and accurately measured in accordance with a use condition of the objective projection optical system PLe.

[0075]

(C) In the inspection apparatus 21 of the first embodiment, the attenuation plate 43 is equipped, which changes the quantity of light of the projection images of the test patterns PA1 to PA4, PB1 and PB2, the light being injected to the light receiving surface 42 of the image pickup mechanism 41.

[0076]

In the first embodiment, the projection image is taken by CCD equipped in the image pickup mechanism 41. In this case, the quantity of light of the projection images passing through

the attenuation plate 43 is adjusted by the plate 43 depending on length of time for storing the projection images, thereby the quantity of light of the projection images reaching to the CCD can be adjusted. Therefore, CCD can be prevented from being saturated, and consequently the imaging characteristics of the projection optical system can be accurately measured.

[0077]

Second Embodiment

An inspection apparatus 61 of the second embodiment is different from the first embodiment in arrangement of the shutter mechanism 39 and the attenuation plate 43 of an inspection apparatus body 62, as shown in Fig. 7 and Fig. 8. Moreover, the inspection apparatus body 62 has a vibration sensor 63 on the base 24, and an expansion optical system 65 equipped in an image pickup mechanism 64.

[0078]

In the inspection apparatus body 62, the shutter mechanism 39 is disposed so as to cover the light receiving surface 42 of the image pickup mechanism 64 in an openable and closable manner on the XYZ stage 26. The attenuation plate 43 is provided between the fly-eye lens 34 and the relay lens 35 in the illumination optical system 32.

[0079]

The vibration sensor 63 is disposed in approximately the center of the base 24, and detects a period of a vibration acting

on the base 24, then outputs information on the period of the vibration to the main control system 52.

[0080]

Furthermore, the expansion optical system 65 is disposed below the light receiving surface 42 of the image pickup mechanism 64, and expands the projection images of the test patterns PA1 to PA4, PB1 and PB2 injected to the light receiving surface 42 at a predetermined magnification. The projection images expanded by the expansion optical system 65 are taken by an image pickup element (CCD) 67 via a mirror 66.

[0081]

In the inspection apparatus 61 of the second embodiment, when the imaging characteristics of the objective projection optical system PL_e are measured, the main control system 52 sets light receiving time on the light receiving surface 42 of the image pickup mechanism 64 based on information on a type of imaging characteristic being a measurement object, in addition, based on information on the period of the vibration inputted from the vibration sensor 63. In other words, in measurement of the imaging characteristics, the main control system 52 reads optimum opening time of the shutter mechanism 39 from the storage device 57 depending on the period of the vibration actually acting on the inspection apparatus body 62 and an aberration to be measured, and sets the opening time in the timer 58.

[0082]

In this case, each of the measured aberrations contains an aberration in the expansion optical system 65. Therefore, information on the aberration in the expansion optical system 65 is previously stored in the storage device 57. When each aberration is measured based on the projection image taken by the CCD 67, the processing section 54 reads the information on the aberration in the expansion optical system 65 from the storage device 57 via the main control system 52. Then, the processing section 54 corrects the measured aberration using the information on the aberration in the expansion optical system 65 to obtain the imaging characteristic of the objective projection optical system PLe.

[0083]

Therefore, according to the second embodiment, the following advantages can be obtained in addition to the advantages described in (A) to (C) in the first embodiment.

(D) In the inspection apparatus 61 of the second embodiment, the inspection apparatus body 62 has the vibration sensor 63 for detecting a characteristic of vibration acting on the inspection apparatus body 62.

[0084]

Therefore, when the imaging characteristic of the objective projection optical system PLe is measured, a characteristic of the vibration actually acting on the

inspection apparatus body 62 is detected by the vibration sensor 63, so that light receiving time of each of the projection images of the test patterns PA1 to PA4, PB1 and PB2 corresponding to the characteristic of the vibration can be set. Therefore, the light receiving time can be securely prevented from being set excessively long, and consequently the imaging characteristics of the objective projection optical system PLe can be further accurately measured. In particular, measurement of aberration based on contrast of the projection image can be accurately performed.

[0085]

In addition, the characteristic of the vibration detected by the vibration sensor 63 is the period of the vibration acting on the inspection apparatus body 61. Therefore, light receiving time on the light receiving surface 42 of the image pickup mechanism 64 can be easily obtained for each aberration based on a period of the detected vibration.

[0086]

(E) In the inspection apparatus 61 of the second embodiment, the expansion optical system 65 is disposed between the light receiving surface 42 of the image pickup mechanism 64 and the CCD 67. Therefore, the projection images of the test patterns PA1 to PA4, PB1 and PB2 that have passed through the light receiving surface 42 are taken by the CCD 67 while being expanded by the expansion optical system 65. Thus,

resolution of the projection images on the CCD 67 is increased, and the projection images are stored n the frame memory 55 as further accurate images. Consequently, measurement accuracy of each aberration in the processing section 54 can be further improved.

[0087]

Third Embodiment

Next, a third embodiment is described, in which an exposure apparatus available to the inspection method of the projection optical system of the invention is specified to an exposure apparatus for manufacturing a semiconductor element, mainly on portions different from the first embodiment.

[0088]

In an exposure apparatus 71 of the third embodiment, as shown in Fig. 9, a reticle blind 72 is provided between a pair of relay lenses 35 of the illumination optical system 32. The reticle blind 72 is disposed such that a shading surface of the blind is in a conjugate relationship with the pattern region on the reticle R. The reticle blind 72 includes plural sheets of movable shading portions (for example, two L-shaped, movable shading portions) that can be opened and closed by a reticle blind drive section 73. Size of an opening (slit width or the like) formed by the movable shading portions is adjusted, thereby the illumination region for illuminating the reticle R can be optionally set.

[0089]

A reticle stage RST is disposed at a side of an object surface of the projection optical system PL. The reticle stage RST holds a reticle R such as the test reticle Rt having the test patterns PA1 to PA4, PB1 and PB2 formed thereon, or a device reticle having a device pattern formed thereon in an exchangeable manner. Moreover, the reticle stage RST holds the reticle R slowly movably in the X direction perpendicular to the light axis AX of the projection optical system PL. Furthermore, the reticle stage RST can be moved in a predetermined direction (scan direction (Y direction)) by a reticle stage drive section 74 configured by a linear motor and the like.

[0090]

The reticle stage RST has a moving stroke being enough to allow the whole surface of the reticle R to traverse at least the light axis of the illumination light IL. In Fig. 9, it is assumed that a direction along the light axis AX of the projection optical system PL is a Z direction, a direction perpendicular to the light axis AX of the projection optical system PL and perpendicular to paper is a X direction, and a direction perpendicular to the light axis AX of the projection optical system PL and along paper is a Y direction.

[0091]

A movable mirror 76 for reflecting laser light from a

laser interferometer gauge 75 is fixed to an end of the reticle stage RST. The gauge 75 continuously detects a position in the Y direction of the reticle stage RST, and outputs information on the position to the main control section 52. The main control section 52 controls a reticle stage drive section 74 based on the positional information on the reticle stage RST, and thus moves the reticle stage RST.

[0092]

The illumination light IL that has passed through the reticle R is injected into the projection optical system PL. The projection optical system PL forms a projection image reduced in one-fifth or one-fourth of the pattern on the reticle R on an image surface of the system.

[0093]

A wafer stage WST is disposed at a side of the image surface of the projection optical system PL. On the wafer stage WST, a wafer W as a substrate coated with a photoresist being photosensitive to the illumination light IL on a surface thereof is set and held via a wafer holder 77. The wafer holder 77 can be inclined in an optional direction with respect to an optimum imaging surface of the projection optical system PL, and can be slowly moved in a direction of the light axis AX of the projection optical system PL (Z direction) by a not-shown drive section.

[0094]

The wafer stage WST is configured to be movable by a wafer stage drive section 78 not only in the scan direction (Y direction), but also in a direction (X direction) perpendicular to the scan direction such that it can be optionally moved with respect to a plurality of shot regions partitioned on the wafer W. This enables step-and-repeat operation where full-wafer exposure is repeated for each of the shot regions partitioned on the wafer W, and step-and-scan operation where scanning exposure is repeated.

[0095]

The movable mirror 29 for reflecting laser light from the gauge 27 is fixed to an end of the wafer stage WST, and the gauge 27 continuously detects positions in the X and Y directions of the wafer stage WST. Positional information (or speed information) of the wafer stage WST is inputted into the main control system 52 and the processing section 54 via the main control system 52. The main control system 52 controls the wafer stage drive section 74 based on the positional information (or speed information).

[0096]

Here, when the pattern on the reticle R is subjected to full-wafer exposure to predetermined exposure regions (shot regions) on the wafer W in a step-and-repeat method, the illumination region on the reticle R is shaped into an approximately square shape by the reticle blind 72. Then,

while both the reticle R and the wafer W are rested, an image of the pattern on the reticle R in the illumination region is collectively projected to the shot region on the wafer W via the projection optical system PL.

[0097]

On the other hand, when the pattern on the reticle R is subjected to scan exposure to the shot regions on the wafer W in a step-and-scan method, the illumination region on the reticle R is shaped into a rectangle (slit) shape by the reticle blind 72. The illumination region has a longitudinal direction in a vertical direction to a scan direction at a reticle R side (+Y direction). The reticle R is scanned at a predetermined speed V_r during exposure, thereby a circuit pattern on the reticle R is sequentially illuminated from a side of one end to a side of the other end in the slit-like illumination region. Thus, the pattern on the reticle R in the illumination region is projected onto the wafer W via the projection optical system PL, consequently a projection region is formed.

[0098]

Here, since the wafer W is in an inversion imaging relationship with the reticle R, it is scanned at a predetermined speed V_w in synchronization with scan of the reticle R in an opposite direction (-Y direction) to the scan direction of the reticle R. Thus, all the shot regions on the

wafer W can be exposed. A ratio of scan speed V_w/V_r is accurately corresponding to reduced magnification of the projection optical system PL, consequently the circuit pattern on the reticle R is accurately transferred onto each of the shot regions on the wafer W in a reduced manner.

[0099]

Above the wafer stage WST, a focus position detection system 81 including a pair of light sending system 79 and a light receiving system 80 is arranged so as to hold the projection optical system PL between them. The light sending system 79 obliquely emits measurement light having a wavelength to which the photoresist is not sensitive to a surface of the wafer W. The light receiving system 80 receives reflected light of the measurement light from the surface of the wafer W, and a focus position (position in the Z direction) of the surface of the wafer W is detected based on a light receiving position of the reflected light. Information on the detected focus position is inputted into the main control system 52 and the processing section 54 of the aberration detection section 53 via the main control system 52.

[0100]

As shown in Fig. 9 and Fig. 10, an image pickup mechanism 84 for measuring the imaging characteristics of the projection optical system PL is removably equipped in an attachment recess 85 on the wafer stage WST such that a surface 86 of the mechanism

has approximately the same height as height of the surface of the wafer W. On the surface 86 of the image pickup mechanism 84, slits 87 as a plurality of light receiving surfaces are opened such that each slit is approximately corresponding to size of one shading portion Ps of each of the test patterns PA1 to PA4, PB1 and PB2. An image pickup element (CCD) 88 is disposed in a position corresponding to each of the slits 87 in the image pickup mechanism 84. The CCD 88 is connected to the frame memory 55.

[0101]

In the image pickup mechanism 84, projection images of the test patterns PA1 to PA4, PB1 and PB2 are taken as follows. That is, as shown in Fig. 9 and Fig. 11, first, the wafer stage WST is moved to dispose the slits 87 in the image pickup mechanism 84 in a scan start position P1 near one of the test patterns PA1 to PA4, PB1 and PB2 projected in the projection feasible region of the projection optical system PL. Then, the main control system 52 reads relative moving speed between the projection images and the slits 87, the speed being previously stored, from the storage device 57 for each aberration to be measured. When the main control system 52 instructs the wafer stage drive section 78 to move the wafer stage WST, the slits 87 is moved to a scan end position P2 with the relative moving speed along an arrangement direction of projection images Ps' corresponding to the shading portions Ps with respect to the

projection images.

[0102]

Thus, the projection images Ps' corresponding to the shading portions Ps sequentially pass on the slits 87, consequently the projection images are taken by the CCD 88. Then, the aberration detection section 53 measures the imaging characteristics of the projection optical system PL based on the taken projection images, as in the first embodiment. In this way, the third embodiment is in a configuration where the light receiving time of the projection images of the test patterns PA1 to PA4, PB1 and PB2 at the slits 87 of the image pickup mechanism 84 is changed by changing the relative moving speed between the projection images and the slits 87 for each aberration to be measured.

[0103]

Moreover, in the exposure apparatus of the third embodiment, adjustment of the quantity of light of a projection image injected to the slits 87 of the image pickup mechanism 84 is performed by allowing the light source 33 for emitting illumination light IL to change pulse number of the illumination light IL according to an instruction from the main control system 52. Here, the light source 33 configures means of changing the quantity of light.

[0104]

Furthermore, as shown in Fig. 9, the main control system

52 is connected with an imaging characteristic control section 89 for controlling the imaging characteristic of the projection optical system PL based on each aberration measured by the processing section 54 of the aberration detection section 53. The imaging characteristic control section 89 is connected with drive elements 92 including a piezoelectric element or the like for changing an interval between a plurality of lens elements 91 accommodated in a bodytube 90 of the projection optical system PL. Moreover, the imaging characteristic control section 89 is connected with a pressure control section 93 for adjusting pressure within the bodytube 90 of the projection optical system PL. The imaging characteristic control section 89, drive elements 92, and pressure control section 93 configure correction means.

[0105]

Here, the main control system 52 instructs the imaging characteristic control section 89 to drive the respective drive elements 92 and the pressure control section 93 based on information on each aberration in the projection optical system PL. Thus, a relative position of each of the lens elements 91 is changed, and pressure within the bodytube 90 of the projection optical system PL is adjusted, and consequently the imaging characteristics of the projection optical system PL are corrected.

[0106]

Therefore, according to the third embodiment, the following advantages can be obtained in addition to approximately the same advantages as described in (A) to (C) in the first embodiment.

[0107]

(F) In the exposure apparatus 71 of the third embodiment, the imaging characteristic of the projection optical system PL are corrected based on the aberration measured by the aberration detection section 53. Therefore, each aberration in the projection optical system PL can be accurately measured, and the imaging characteristic of the projection optical system PL can be accurately corrected. Therefore, the pattern formed on the reticle R can be accurately projected and transferred onto the wafer W, and consequently a yield in product wafer can be improved.

[0108]

(G) In the exposure apparatus 71 of the third embodiment, adjustment of the quantity of light of the projection image injected to the slits 87 of the image pickup mechanism 84 is performed by allowing the light source 33 for emitting the illumination light IL to change pulse number of the illumination light IL according to the instruction from the main control system 52.

[0109]

Therefore, in the case that the light receiving time of

the projection image via the slits 84 of the image pickup mechanism 84 is lengthened, the CCD 88 can be avoided from being saturated without causing increase in number of components and a complicated configuration.

[0110]

Modifications

The embodiments of the invention may be modified as follows.

- In the embodiments, a dark-line pattern, in which a plurality of linear shading portions Ps are arranged at a predetermined interval in a translucent portion Pt, is used for the test patterns PA1 to PA4, PB1 and PB2. On the contrary, a bright-line pattern, in which a plurality of linear translucent portions Pt are arranged at a predetermined interval in a shading portion Ps, may be used for the test patterns PA1 to PA4, PB1 and PB2.

[0111]

In such a configuration, approximately the same advantages as in the embodiments are obtained. Particularly, in the third embodiment, the projection images of the test patterns PA1 to PA4, PB1 and PB2 and the slits 87 of the image pickup mechanism 84 are relatively moved, and the projection images are taken by the CCD 88 via the slits 87, thereby information on the imaging characteristic of the projection optical system PL is obtained. Therefore, in the case of using

the bright-line pattern in the third embodiment, when the slits 87 are disposed on the scan start position P1 and the scan end position P2, the relevant slits 87 can be allowed to correspond to portions corresponding to the shading portions Ps of the projection images. Thus, approximately no light beam is received by the CCD 88 at the scan start position P1 and the scan end position P2. Therefore, the exposure apparatus 71 can be simplified in configuration and can be simply controlled without needing the shutter mechanism 39.

[0112]

- The respective embodiments are in a configuration where the projection images of the test patterns PA1 to PA4, PB1 and PB2 are taken by the image pickup mechanisms 41, 64 and 84 and subjected to image processing, so that each of aberrations in the projection optical systems PLe and PL is measured. On the contrary, it is acceptable that images of the test patterns PA1 to PA4, PB1 and PB2 are printed on the wafer W coated with a photoresist via the projection optical systems PLe and PL. Then, the printed images of the patterns are developed, and then the developed pattern images are visually observed using an electron microscope or the like to measure each of aberrations in the projection optical systems.

[0113]

In such a configuration, approximately the same advantages as in the respective embodiments are obtained except

for the (E).

- While the illumination light IL is pulsed light such as excimer laser light in the respective embodiments, for example, a bright line of visual light or ultraviolet light such as g-rays, h-rays, and i-rays, a higher harmonic wave of continuous laser light such as metal vapor laser light, YAG laser light, solid laser light, and fiber laser light, and continuous light such as extremely far ultraviolet light.

[0114]

In such a configuration, approximately the same advantages as in the respective embodiments are obtained except for the (G).

- While the CCD 67 or 88 is used for the image pickup element in the respective embodiments, for example, an image sensor of a BBD type, CID type, CPD type, MOS type, PCD type and the like, a photomultiplier, and a line sensor may be used.

[0115]

In such a configuration, approximately the same advantages as in the respective embodiments are obtained.

- In the embodiments, adjustment of the quantity of light in the projection image injected to the light receiving surface 42 or the slits 87 of the image pickup mechanisms 41, 64 and 84 is performed by changing the attenuation filter 44, or changing the pulse number of the illumination light IL emitted from the light source 33. On the contrary, for example, the

quantity of light may be adjusted using an energy modulator of a grating type in which a plurality of lattice plates having translucent portions and shading portions formed at a certain pitch therein are disposed in piles relatively movably in a pitch direction of the lattice. Moreover, it is also acceptable that the quantity of light may be adjusted using an energy modulator or the like in which two optical element plates transparent to the illumination light IL, the plates being applied with anti-reflection coating on both sides, are disposed such that the angle of inclination is symmetric and changeable with respect to the illumination light IL, and energy of the illumination light IL is changed by changing the angle of inclination.

[0116]

In such a configuration, approximately the same advantages as in the respective embodiments are obtained.

- In the second embodiment, an output signal from the vibration sensor 63 with being not subjected to vibration is previously stored in the main control system 52 or the storage device 57 as a reference value. Then, in a certain time while a period of an output signal from the vibration sensor 63, that is, a period of vibration acting on the base 24 is within a predetermined range from the reference value, the projection images of the test patterns PA1 to PA4, PB1 and PB2 are taken by the image pickup mechanism 64. The imaging characteristic

of the objective projection optical system PLe may be measured based on the projection images taken in this way. In this case, since the imaging characteristics are measured in a low vibration condition, the light receiving time in the image pickup mechanism 64 may be lengthened similarly as in the embodiments, or may be shortened to a level where sufficient resolution is still given in the image pickup mechanism 64.

[0117]

By the image pickup mechanism 64, the projection images of the test patterns PA1 to PA4, PB1 and PB2 are continuously taken with short light receiving in a level where sufficient resolution is still given in the image pickup mechanism 64, and stored in the frame memory 55. The output signal from the vibration sensor 63 in synchronization with taking of the projection images is similarly stored in the frame memory 55 at the same time. Then, when the output signal from the vibration sensor 63 is within the predetermined range from the reference value, the projection images are extracted from the frame memory 55 to measure the imaging characteristic of the objective projection optical system PLe.

[0118]

When such configurations are given, vibration acting on the inspection apparatus body 62 is superposed with a noise component, consequently even if a period of the vibration is not constant, accurate aberration measurement can be

performed.

[0119]

- In the second embodiment, the aberration in the expansion optical system 65 previously stored in the storage device 57 is used to correct aberration to be measured based on the projection images taken by the CCD 67. On the contrary, for example, the following may be used: a rotation mechanism for rotating the expansion optical system 65 by a predetermined angle is provided, so that the expansion optical system 65 is sequentially disposed in positions being 180° different from each other, and the imaging characteristic is measured in each position. Then, an average of results of the two times of measurement is obtained, thereby the effect of the aberration in the expansion optical system 65 is eliminated. Similarly, it is acceptable that while the objective projection optical system PLe is rotated, the imaging characteristics of the system are measured, and an average of results of the measurement is obtained, thereby the effect of the aberration in the expansion optical system 65 is eliminated.

[0120]

In such a configuration, approximately the same advantages as in the second embodiment are obtained.

- In the third embodiment, the light receiving time of the projection images of the test patterns PA1 to PA4, PB1 and PB2 is changed by changing the relative moving speed between the

projection images and the slits 87 for each aberration to be measured. On the contrary, it is acceptable that a counter is equipped in the main control system 52, the relative moving speed is set to be constant at any time, and the number of relative moving between the projection images and the slits 87 is changed under counting of the counter for each aberration to be measured, thereby the light receiving time of the projection images is changed.

[0121]

- In the third embodiment, the projection images of the test patterns PA1 to PA4, PB1 and PB2 are rested, and the wafer stage WST is moved, thereby the slits 87 of the image pickup mechanism 84 is moved to take the projection images by the CCD 88 via the slits 87. On the contrary, it is acceptable that the slits 87 are rested, and the reticle stage RST is moved, thereby the projection images are moved to take the projection images. Moreover, it is acceptable that both the stages RST and WST are relatively moved in synchronization with each other, thereby the projection images and the slits 87 are relatively moved to each other, and thereby the projection images are taken.

[0122]

- In the third embodiment, the projection images of the test patterns PA1 to PA4, PB1 and PB2 are taken by the CCD 88 via the slits 87 formed on the surface 86 of the image pickup

mechanism 84. On the contrary, it is acceptable that, for example, a rectangular opening is provided in the surface 86 of the image pickup mechanism 84, and while the opening and the projection images are relatively moved, the projection images are taken by the CCD 88 via the opening.

[0123]

- In the third embodiment, a specific example of the exposure apparatus is shown, the exposure apparatus having the projection optical system PL for reducibly projecting the image of the pattern on the reticle R onto the wafer W. On the contrary, the invention may be specified to an exposure apparatus having a projection optical system for projecting the pattern image onto the wafer W in same or expanded magnification.

[0124]

- In the third embodiment, a specific example in the exposure apparatus for manufacturing a semiconductor element is shown. On the contrary, the invention may be specified to an exposure apparatus for manufacturing other microdevices such as a liquid crystal display element, a thin-film magnetic head, and an image pickup element, or manufacturing a mask such as reticle and photomask.

[0125]

In such configurations, approximately the same advantages as in the third embodiment are obtained.

Furthermore, projection optical systems PL, PLe are not limited to a system where all optical elements are configured by refractive lenses, and may be a system configured by reflective elements (mirrors), or may be a catadioptic system including refractive lenses and reflective elements. Moreover, the systems are not limited to the reduction system, and may be a same magnification system or an expanded system.

[0126]

The inspection apparatuses 21, 61 and the exposure apparatus 71 of the respective embodiments are manufactured by assembling various subsystems including respective components given in claims of the application in a manner of keeping predetermined mechanical accuracy, electrical accuracy, and optical accuracy. To secure these kinds of accuracy, adjustment for achieving optical accuracy for various optical systems, adjustment for achieving mechanical accuracy for various mechanical systems, and adjustment for achieving electrical accuracy for various electrical systems are performed before and after the assembling. An assembling step from various subsystems to the inspection apparatuses 21, 61 and the exposure apparatus 71 includes mechanical connection, connection of an electric circuit, piping connection of an air-pressure circuit, and the like between various subsystems. It is obvious that there is an assembling step of each of the subsystems individually before the assembling step from the

various subsystems to the inspection apparatuses 21, 61 and the exposure apparatus 71. When the assembling step from the various subsystems to the inspection apparatuses 21, 61 and the exposure apparatus 71 is finished, total adjustment is performed to generally secure various kinds of accuracy of the inspection apparatuses 21, 61 and the exposure apparatus 71. The inspection apparatuses 21, 61 and the exposure apparatus 71 are desirably manufactured in a clean room being controlled in temperature, cleanliness and the like.

[0127]

A semiconductor device is manufactured via a step of designing functions and performance of the device; a step of preparing a reticle R based on the design step; a step of preparing a wafer W from silicon material; a step of exposing a pattern of the reticle R to the wafer W by the exposure apparatus 71 of the embodiment; a device assembling step (including dicing step, bonding step and package step); an inspection step and the like. The illumination optical system and projection optical system PL including a plurality of lenses are assembled in the body of the exposure apparatus 71 and then subjected to optical adjustment, and the reticle stage RST and the wafer stage WST are mounted on the body of the exposure apparatus 71 and connected with wiring lines or pipe lines, and furthermore total adjustment (electrical adjustment, operation check and the like) is performed, thereby

the exposure apparatus 71 of the embodiment can be manufactured. The exposure apparatus 71 is desirably manufactured in a clean room being controlled in temperature, cleanliness and the like.

[0128]

Next, further technical ideas recognized from the embodiments and modifications are described below with advantages of them.

(1) An advantage is given, that is, when a characteristic of the vibration includes at least a period of the vibration, optimum light receiving time on a light receiving surface for each imaging characteristic can be easily obtained based on the period of the vibration.

[0129]

(2) An advantage is given, that is, when the illumination light is pulsed light, and the means of changing the quantity of light controls pulse number of the pulsed light for a light source for emitting the pulsed light, in the case that an image pickup element is used, the image pickup element can be avoided from being saturated without causing increase in number of components and a complicated configuration.

[0130]

[Advantage of the Invention]

As described in detail hereinbefore, according to inventions according to claims 1 and 6, a projection image of an inspection pattern can be formed in a best condition for

each kind of imaging characteristic, or for each characteristic of vibration acting on an inspection apparatus. Therefore, an effect of vibration with low frequency during inspection of a projection optical system can be eliminated without using an expensive vibration removing device, and consequently imaging characteristic of the projection optical system can be accurately measured.

[0131]

According to an invention according to claim 2 of the application, in addition to the advantage of the invention according to claim 1, projection time of the projection image of the inspection pattern is set depending on a characteristic of vibration actually acting on the inspection apparatus, thereby the imaging characteristic of the projection optical system can be further accurately measured.

[0132]

According to an invention according to claim 3 of the application, in addition to the advantage of the invention according to claim 1 or 2, an imaging condition of the projection optical system can be easily and accurately measured in accordance with a use condition of the projection optical system.

[0133]

According to an invention according to claim 4 of the application, in addition to the advantage of the invention

according to claim 3, the effect of the vibration with low frequency can be eliminated in a simple configuration where light receiving time of the projection image of the inspection pattern is simply changed. Therefore, the projection optical system can be accurately inspected without causing increase in number of components and a complicated configuration.

[0134]

According to an invention according to claim 5 of the application, in addition to the advantage of the invention according to any one of claims 1 to 4, for example, when an image pickup element is used to receive light of the projection image of the inspection pattern, the image pickup element can be avoided from being saturated. Therefore, the imaging characteristics of the projection optical system can be accurately measured.

[0135]

According to an invention according to claim 7 of the application, the imaging characteristic of the projection optical system can be accurately measured without using an expensive vibration removing device, consequently accurate exposure operation can be ensured. Therefore, a yield in product substrate can be improved.

[0136]

According to an invention according to claim 8 of the application, a circuit pattern on a mask can be accurately

transferred onto a substrate, consequently a yield in product substrate can be improved.

[Brief Description of the Drawings]

Fig. 1 is a partial cutout front view showing an inspection apparatus of a projection optical system of a first embodiment;

Fig. 2 is a schematic block diagram showing the inspection apparatus of Fig. 1;

Fig. 3 is a plane view showing a test pattern in an enlarged manner;

Fig. 4 is a plane view showing a test reticle;

Fig. 5 is an explanatory view on image processing of a projection image of a test pattern;

Fig. 6 is an explanatory view showing a relationship between a period of vibration and light receiving time;

Fig. 7 is a partial cutout front view showing an inspection apparatus of a projection optical system of a second embodiment;

Fig. 8 is a schematic block diagram showing the inspection apparatus of Fig. 7;

Fig. 9 is a schematic block diagram showing an exposure apparatus of a third embodiment;

Fig. 10 is a partial section view showing a relevant part of Fig. 9; and

Fig. 11 is an explanatory view on relative movement

between projection images and slits.

[Description of the Reference Numerals and Signs]

21, 61 inspection apparatus

32 illumination optical system

33 light source configuring means of changing the quantity of
light

42 light receiving surface

43 attenuation plate configuring means of changing the quantity
of light

52 main control system configuring control means

53 aberration detection section configuring measurement means

63 vibration sensor as detection means

71 exposure apparatus

87 slit as light receiving surface

89 imaging characteristic control section configuring part of
correction means

92 drive element configuring part of correction means

93 pressure control section configuring part of correction
means

PA1 to PA4, PB1, PB2 test pattern as inspection pattern

PL projection optical system

PLe objective projection optical system as projection optical
system

R reticle as mask

Rt test reticle as inspection mask

W wafer as substrate

Fig. 2

33 LIGHT SOURCE
40 SHUTTER DRIVE SECTION
45 ATTENUATION PLATE DRIVE SECTION
52 MAIN CONTROL SYSTEM
53 ABERRATION DETECTION SECTION
54 PROCESSING SECTION
55 FRAME MEMORY
56 MONITOR
58 TIMER

Fig. 5

INTENSITY
POSITION

Fig. 6

COORDINATE VALUE
TIME
VIBRATION WITH MINIMUM FREQUENCY
LIGHT RECEIVING TIME IN USUAL CONFIGURATION
LIGHT RECEIVING TIME DURING MEASURING CONTRAST
LIGHT RECEIVING TIME DURING MEASURING COORDINATE POSITION

Fig. 8

33 LIGHT SOURCE

40 SHUTTER DRIVE SECTION
45 ATTENUATION PLATE DRIVE SECTION
52 MAIN CONTROL SYSTEM
53 ABERRATION DETECTION SECTION
54 PROCESSING SECTION
55 FRAME MEMORY
56 MONITOR
58 TIMER
63 VIBRATION SENSOR

Fig. 9

33 LIGHT SOURCE
52 MAIN CONTROL SYSTEM
53 ABERRATION DETECTION SECTION
54 PROCESSING SECTION
55 FRAME MEMORY
56 MONITOR
58 TIMER
73 RETICLE BLIND DRIVE SECTION
89 IMAGING CHARACTERISTIC CONTROL SECTION
93 PRESSURE CONTROL SECTION

(19)日本特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-283889

(P2000-283889A)

(43)公開日 平成12年10月13日 (2000.10.13)

(51)Int.Cl.
G 0 1 M 11/02
H 0 1 L 21/027

識別記号

F I
C 0 1 M 11/02
H 0 1 L 21/30

チーマコット(参考)
B 2 G 0 8 6
S 1 6 A 5 F 0 4 6
S 1 6 D

審査請求 未請求 請求項の数8 OL (全 17 頁)

(21)出願番号

特願平11-92111

(22)出願日

平成11年3月31日 (1999.3.31)

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 清水 裕介

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(74)代理人 100068755

弁理士 恩田 博宣

F ターム(参考) 2G086 HH06

5F046 BA04 BA05 CB05 CB23 CB25

CC01 CC02 CC05 CC18 DA13

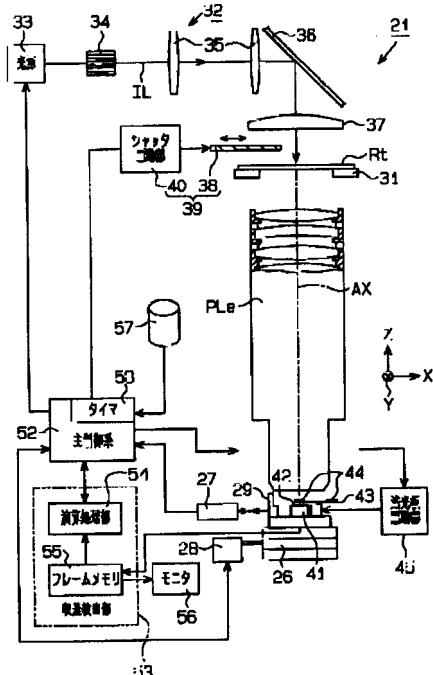
DA14 DA27 DB01 DC12

(54)【発明の名称】 投影光学系の検査装置及び検査方法、露光装置、並びに、マイクロデバイスの製造方法

(57)【要約】

【課題】 高価な除振装置を用いることなく、投影光学系の検査時の低周波数の振動の影響を排除可能な検査装置及び検査方法、正確な露光が可能な露光装置、さらに製品の歩留まりを向上可能なマイクロデバイスの製造方法を提供する。

【解決手段】 テストレチカルRt上に形成されたテストパターンを、被検投影光学系PLeを介して撮像機構41の受光面42上に投影する。計測しようとする収差毎に、前記受光面42における投影像の受光時間を変更する。ここで、その投影像のコントラストに基づいて求められる収差の計測時には、前記受光時間を検査装置本体22に作用する振動のうちで最低周波数の振動の1/2周期程度に設定する。また、前記投影像の座標位置に基づいて求められる収差の計測時には、前記受光時間を前記最低周波数の振動の1周期程度に設定する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 検査用パターンを有する検査用マスクを照明する照明光学系と、前記検査用パターンを所定面上に投影する投影光学系と、前記所定面上に投影された前記検査用パターンの投影像に基づいて前記投影光学系の結像特性を計測する計測手段とを備えた投影光学系の検査装置において、

前記計測手段での計測対象となる前記投影光学系の結像特性の種類と、前記検査装置に作用する振動の特性との少なくとも一方に応じて、前記所定面上に投影する前記投影像の投影時間を変更する制御手段を備えたことを特徴とする投影光学系の検査装置。

【請求項2】 前記振動の特性を検出する検出手段をさらに設けたことを特徴とする請求項1に記載の投影光学系の検査装置。

【請求項3】 前記所定面上には、前記投影像を受光する受光面が配置されることを特徴とする請求項1または請求項2に記載の投影光学系の検査装置。

【請求項4】 前記制御手段は、前記投影時間として前記受光面における受光時間を変更するようにしたことを特徴とする請求項3に記載の投影光学系の検査装置。

【請求項5】 前記受光面に入射する光束の光量を変更する光量変更手段をさらに備えたことを特徴とする請求項1～請求項4のうちいずれか一項に記載の投影光学系の検査装置。

【請求項6】 検査用マスク上に形成された検査用パターンを投影光学系を介して所定面上に投影し、前記検査用パターンの投影像に基づいて前記投影光学系の結像特性を計測手段により計測する投影光学系の検査方法において、

前記計測手段での計測対象となる前記投影光学系の結像特性の種類と、前記検査用パターンを前記所定面上に投影する際に作用する振動の特性との少なくとも一方に応じて、前記所定面上に投影する前記投影像の投影時間を変更することを特徴とする投影光学系の検査方法。

【請求項7】 マスク上に形成されたパターンを投影光学系を介して基板上に転写する露光装置において、前記請求項1～請求項5のうちいずれか一項に記載の投影光学系の検査装置と、その検査装置の検査結果に基づいて前記投影光学系の結像特性を補正する補正手段とを備えたことを特徴とする露光装置。

【請求項8】 マスク上に形成されたデバイスパターンを投影光学系を介して基板上に転写して、前記基板上に所定の回路パターンを形成するマイクロデバイスの製造方法において、

計測対象となる前記投影光学系の結像特性の種類と、検査用マスク上の検査用パターンを前記投影光学系を介して所定面上に投影する際に作用する振動の特性との少なくとも一方に応じて、前記所定面上に投影する前記検査用パターンの投影像の投影時間を変更して、前記検査用

パターンを前記所定面上に投影し、前記投影時間変更後の投影像に基づいて前記投影光学系の結像特性を計測し、その計測結果に基づいて前記投影光学系の結像特性を補正して、前記マスク上のデバイスパターンを前記基板上に転写することを特徴とするマイクロデバイスの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えば半導体素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド、撮像素子等のマイクロデバイス、レチクル、フォトマスク等のマスクなどの製造プロセスにおけるフォトリソグラフィ工程で使用される露光装置、及び、その露光装置に用いられる投影光学系の検査装置及び検査方法、さらに前記マイクロデバイスの製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】この種の露光装置としては、例えば次のようなものが知られている。すなわち、レチクル、フォトマスク等のマスク上に形成された回路パターンに所定の照明光を照射し、その回路パターンの像を投影光学系を介してウエハ、ガラスプレート等の基板上に投影転写する。ここで、前記投影光学系に収差が存在していると、その投影光学系を介して形成される前記回路パターンの投影像は歪んだものとなり、製品基板の歩留まりが低下することがある。このため、種々の検査方法及び検査装置を用いて、前記投影光学系の収差の計測が行われている。

【0003】特に、レチクル上に形成された回路パターンをウエハ上に転写して製造される半導体素子では、近年の集積度の著しい増大に伴って、それぞれ異なる多数の回路パターンが、各パターンが相互に位置合わせした状態で層状に重ね焼きされている。このため、重ね合わせ精度を確保する意味でも、より厳密な前記投影光学系の収差の計測が求められている。

【0004】前記投影光学系の検査方法としては、例えば次のような方法が知られている。すなわち、検査用マスクに形成された検査用パターンの投影像を、被検投影光学系を介してその被検投影光学系の共役な面（像面）に受光面が位置するように配置された撮像機構上に形成する。そして、その撮像機構により前記パターンの投影像を取り込んで、取り込まれた投影像を画像処理することにより、前記投影光学系の収差を検査する方法である。なお、前記撮像機構は、レーザ干渉測長器等により移動量が計測可能なXYZ三軸の移動ステージ（以下、「XYZステージ」という。）上に配置されている。

【0005】前記投影光学系の投影像の歪みをもたらす項目としては、いわゆる「ザイデルの5収差」（球面収差、コマ収差、非点収差、像面湾曲、ディストーション）がある。これらの収差の検査には、前記検査用パターンとして、複数の線状のマークが所定の間隔で繰り返

し配置されたライン・アンド・スペース（以下、「L・S」という。）の暗線パターンまたは明線パターンが用いられる。また、前記L・Sパターンは、所定の距離をおいて検査用マスク上に多数形成されている。

【0006】前記5収差のうち、球面収差と、コマ収差と、非点収差と、像面湾曲との検査は、前記撮像機構を取り込まれた前記L・Sパターンの投影像における明暗のコントラストに基づいて求められる。このコントラストを最大にするため、計測上の基準となるベストフォーカス位置を求める必要がある。このベストフォーカス位置の検出は、前記被検投影光学系の光軸に沿って、前記撮像機構の受光面を動かして被検投影光学系のフォーカス位置を変えつつ、逐次前記投影像を取り込む。そして、前記各フォーカス位置における前記投影像のコントラストを計測し、コントラスト＝フォーカス曲線を算出してベストフォーカス位置を求める。

【0007】一方、前記ディストーションは、前記被検投影光学系の投影範囲内における前記各L・Sパターンの投影像の座標位置に基づいて求められる。この座標位置は、前記各投影像の重心位置と、前記測長器での読み値とにに基づいて求められる。

【0008】以上のような投影光学系の検査は、その投影光学系を備える露光装置、あるいは専用の検査装置に被検投影光学系を搭載した状態で行われる。また、前記露光装置において高精度の露光動作を確保するためには、前記投影光学系の検査、つまり前記各収差の計測を厳密に行う必要がある。

【0009】ここで、前記露光装置及び検査装置には、外部からそれらの装置へ伝達された振動の影響を低減するために、除振装置が装備されている。これは、前記投影像の取り込み中に前記露光装置及び検査装置に振動が伝達されると、本来静止しているべき投影像が揺れ動くことがあるためである。このように投影像が揺れ動くと、前記撮像機構での投影像の取り込み時間は、ごく短時間であるため、コントラストが低下したり、前記投影像自体が平行移動したりすることがある。そして、前記投影像のコントラストや座標位置を正確に計測することができなくなるおそれがある。

【0010】この種の除振装置としては、例えば前記露光装置及び検査装置と、その設置床面との間に介装される除振台が知られている。前記除振台は、内部に緩衝部材を収容する複数の脚部と、前記露光装置及び検査装置を載置する載置盤とを備えている。その載置盤は、連結部材を介して前記緩衝部材と連結され、前記露光装置及び検査装置を前記設置床面から浮遊状態で載置するようになっている。前記緩衝部材としては、荷重に対して均等に変位するコイルばねが用いられている。このような除振台は、前記コイルばねの固有振動数のみを利用して振動の除去を行う、いわゆるパッシブ除振台である。

【0011】また、露光装置及び検査装置は、それらの

装置を構成する各部材の寸法の環境依存性を排除して、前記投影像の座標位置を正確に計測するために、通常恒温室内に設置されている。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】前記従来構成のパッシブ除振台においては、例えば50Hz以上の比較的高い周波数の振動は、効果的に除去することができる。ところが、前記露光装置及び検査装置を取り巻く環境においては、前記周波数以下（例えば23Hzまたは48Hz程度の周波数）の振動が、例えば恒温室の空調設備から発生している。また、前記露光装置及び検査装置の運搬時や、前記検査装置における被検投影光学系の交換時に使用されるクレーンからも、前記と同様な低周波数の振動が発生されることがある。さらに、一般に、前記露光装置及び検査装置の配置される建屋の床は、地震対策等のため、10Hz程度の固有振動数となるように設計されていることが多い。

【0013】このように、前記露光装置及び検査装置を取り巻く環境においては、様々な周波数の単振動が同時に発生されている。そして、これらの単振動が重なり合うと、前記コイルばねの固有振動数に近接したビート周波数を有する、さらに低周波数の合成振動が発生する。このような低周波数の単振動及び合成振動を、従来のパッシブ除振台のみで十分に除去するのは困難である。そして、前記両振動が前記露光装置及び検査装置に伝達されると、前記投影像のコントラストや座標位置の計測精度を十分に確保できなくなるおそれがあるという問題があつた。

【0014】前記低周波数の両振動を完全に除去するためには、例えば次のような方法が考えられる。すなわち、前記露光装置及び検査装置に振動センサを取り付け、それら装置に伝達される振動を検出する。そして、その振動センサの検出結果に基づいて、伝達されてきた振動と逆位相の振動を発生させて、前記伝達される振動を打ち消すような機能を有する、いわゆるアクティブ除振台を採用することである。

【0015】しかしながら、このように積極的に逆位相の振動を加えるアクティブ除振台の採用は、それ自体が非常に高価であり、前記露光装置及び検査装置の製造コストの著しい高騰を招くという問題を生じる。また、除振台及びその周辺構成が大がかりなものとなって、前記露光装置及び検査装置における構成の複雑化及び大型化を招くという問題も生じる。

【0016】しかも、このようなアクティブ除振台は、前記従来構成の露光装置及び検査装置に採用されている前記パッシブ除振台とは構成が全く異なるものである。そのため、前記従来構成の露光装置及び検査装置において、前記アクティブ除振台を追加装備したり、パッシブ除振台をアクティブ除振台に置換したりすることも容易なことではない。

【0017】本発明は、このような従来の技術に存在する問題点に着目してなされたものである。その目的としては、高価な除振装置を用いることなく、投影光学系の収差の検査時における低周波数の振動の影響を排除可能な投影光学系の検査装置及び検査方法を提供することにある。また、その他の目的としては、投影光学系の収差を正確に計測し、正確な露光が可能な露光装置を提供することにある。さらに、その他の目的としては、製品の歩留まりを向上可能なマイクロデバイスの製造方法を提供することにある。

【0018】

【課題を解決するための手段】前記目的を達成するためには、投影光学系の検査装置に係る本願請求項1に記載の発明は、検査用パターン(PA1～PA4, PB1, PB2)を有する検査用マスク(Rt)を照明する照明光学系(32)と、前記検査用パターン(PA1～PA4, PB1, PB2)を所定面(42, 87)上に投影する投影光学系(PLe, PL)と、前記所定面(42, 87)上に投影された前記検査用パターン(PA1～PA4, PB1, PB2)の投影像に基づいて前記投影光学系(PLe, PL)の結像特性を計測する計測手段(53)とを備えた投影光学系(PLe, PL)の検査装置(21, 61)において、前記計測手段(53)での計測対象となる前記投影光学系(PLe, PL)の結像特性の種類と、前記検査装置(21, 61)に作用する振動の特性との少なくとも一方に応じて、前記所定面(42, 87)上に投影する前記投影像の投影時間を変更する制御手段(52)を備えたことを特徴とするものである。

【0019】ここで、本願発明者は、種々検討した結果、計測対象の結像特性が、検査用パターンの投影像のコントラストに基づいて計測されるものなのか、座標位置に基づいて計測されるものなのかによって、そのコントラスト、座標位置の変動の周期が異なることを見いだした。この本願請求項1に記載の発明では、計測対象となる前記結像特性の種類と、前記検査装置に作用する振動の特性との少なくとも一方に応じて、前記投影像の投影時間を変更するようになっている。このため、前記各結像特性の種類毎に、また前記作用する振動の特性毎に、前記投影像をベストの状態に形成することができる。これにより、高価な除振装置を用いることなく前記低周波数の振動の影響を排除することができ、前記投影像に基づいて前記投影光学系の結像特性を正確に計測することができる。

【0020】また、本願請求項2に記載の発明は、前記請求項1に記載の発明において、前記振動の特性を検出する検出手段(63)をさらに設けたことを特徴とするものである。

【0021】このため、本願請求項2に記載の発明では、前記請求項1に記載の発明の作用に加えて、前記検

出手段により、実際に検査装置に作用している振動の特性を検出することができる。そして、その振動の特性に応じて、前記投影像の投影時間を設定することで、前記投影光学系の結像特性を一層正確に計測することができる。

【0022】また、本願請求項3に記載の発明は、前記請求項1または請求項2に記載の発明において、前記所定面上には、前記投影像を受光する受光面(42, 87)が配置されることを特徴とするものである。

【0023】このため、本願請求項3に記載の発明では、前記請求項1または請求項2に記載の発明の作用に加えて、投影光学系の使用状態に即して、前記投影光学系の結像状態の計測を行うことができる。

【0024】また、本願請求項4に記載の発明は、前記請求項3に記載の発明において、前記制御手段(52)は、前記投影時間として前記受光面(42, 87)における受光時間を変更するようにしたことを特徴とするものである。

【0025】このため、本願請求項4に記載の発明では、検査用パターンの投影像におけるコントラスト及び座標位置の変動の周期に応じて、計測対象の結像特性毎に、前記投影像の受光時間を調整することができる。これにより、計測手段での各結像特性の計測の基礎となる前記投影像のコントラストのばらつき及び前記投影像自身の平行移動を平均化することができる。

【0026】そして、本願請求項4に記載の発明では、前記請求項3に記載の発明の作用に加えて、単に検査用パターンの投影像の受光時間を変更するといった簡素な構成で、投影光学系の結像特性の計測時における低周波数の振動の影響を排除できる。

【0027】また、本願請求項5に記載の発明は、前記請求項1～請求項4のうちいずれか一項に記載の発明において、前記受光面(42, 87)に入射する光束の光量を変更する光量変更手段(43, 33)をさらに備えたことを特徴とするものである。

【0028】計測手段での結像特性の計測に先だって検査用パターンの投影像を、例えば撮像素子(CCD)を用いて取り込む場合、前記投影像の蓄積時間の長さによっては、前記CCDが飽和状態となってしまうことがある。これに対して、本願請求項5に記載の発明では、前記請求項1～請求項4のうちいずれか一項に記載の発明の作用に加えて、光量変更手段により、受光面に投影される投影像の光量を調整することができる。このため、前記のように、CCDが飽和状態となるのを回避することができ、投影光学系の結像特性を正確に計測することができる。

【0029】また、投影光学系の検査方法に係る本願請求項6に記載の発明は、検査用マスク(Rt)上に形成された検査用パターン(PA1～PA4, PB1, PB2)を投影光学系(PLe, PL)を介して所定面(42)

2, 87) 上に投影し、前記検査用パターン (PA1～PA4, PB1, PB2) の投影像に基づいて前記投影光学系 (PL_e, PL) の結像特性を計測手段 (53) により計測する投影光学系 (PL_e, PL) の検査方法において、前記計測手段 (53) での計測対象となる前記投影光学系 (PL_e, PL) の結像特性の種類と、前記検査用パターン (PA1～PA4, PB1, PB2) を前記所定面 (42, 87) 上に投影する際に作用する振動の特性との少なくとも一方に応じて、前記所定面 (42, 87) 上に投影する前記投影像の投影時間を変更することを特徴とするものである。

【0030】このため、本願請求項6に記載の発明では、前記請求項1に記載の発明とほぼ同様の作用が発揮される。また、露光装置に係る本願請求項7に記載の発明は、マスク (R) 上に形成されたパターンを投影光学系 (PL) を介して基板上 (W) に転写する露光装置 (71) において、前記請求項1～請求項5のうちいずれか一項に記載の投影光学系の検査装置と、その検査装置の検査結果に基づいて前記投影光学系 (PL) の結像特性を補正する補正手段 (89, 92, 93) とを備えたことを特徴とするものである。

【0031】このため、本願請求項7に記載の発明では、高価な除振装置を用いることなく、投影光学系の結像特性を正確に計測することができて、正確な露光動作を確保することができる。そして、製品基板における歩留まりを向上させることができる。

【0032】また、マイクロデバイスの製造方法に係る本願請求項8に記載の発明は、マスク (R) 上に形成されたデバイスパターンを投影光学系 (PL) を介して基板 (W) 上に転写して、前記基板 (W) 上に所定の回路パターンを形成するマイクロデバイスの製造方法において、計測対象となる前記投影光学系 (PL) の結像特性の種類と、検査用マスク (R_t) 上の検査用パターン (PA1～PA4, PB1, PB2) を前記投影光学系 (PL) を介して所定面 (42, 87) 上に投影する際に作用する振動の特性との少なくとも一方に応じて、前記所定面 (42, 87) 上に投影する前記検査用パターン (PA1～PA4, PB1, PB2) の投影像の投影時間を変更して、前記検査用パターン (PA1～PA4, PB1, PB2) を前記所定面 (42, 87) 上に投影し、前記投影時間変更後の投影像に基づいて前記投影光学系 (PL) の結像特性を計測し、その計測結果に基づいて前記投影光学系 (PL) の結像特性を補正して、前記マスク (R) 上のデバイスパターンを前記基板 (W) 上に転写することを特徴とするものである。

【0033】このため、本願請求項8に記載の発明では、高価な除振装置を用いることなく、投影光学系の結像特性を正確に計測することができ、その計測結果に基づいて正確に投影光学系の結像特性を補正することができる。これにより、マスク上の回路パターンが正確に基

板上に転写されるため、製品基板における歩留まりを向上させることができる。

【0034】

【発明の実施の形態】(第1実施形態)以下に、本発明の投影光学系の検査装置及び検査方法を、専用の検査装置に具体化した第1実施形態について図1～図6に基づいて説明する。

【0035】図1は検査装置の一部を切り欠いた外観図であり、図2は図1の検査装置の概略示す図である。図1及び図2に示すように、検査装置21は、検査装置本体22と除振台23とから構成されている。前記検査装置本体22の基盤24上には、被検投影光学系PL_eを着脱可能に保持するための下部架台25が立設されている。また、前記基盤24上には、XYZステージ26とレーザ干渉測長器(以下、「測長器」という)27とが配置されている。前記XYZステージ26は、ステージ駆動部28により、XYZの三軸方向に移動可能になっている。また、このXYZステージ26上には、X方向及びY方向に沿って一对の移動鏡29が立設されている。前記測長器27は、この移動鏡29に対向するように配置されている。そして、この測長器27は、前記移動鏡29に対して所定のレーザ光を出射するとともに、その出射光と移動鏡29からの反射光との干渉に基づいて、前記XYZステージ26のXYの二軸方向における位置を計測する。

【0036】なお、ここでは、前記被検投影光学系PL_eの光軸AXに沿う方向をZ軸とし、その光軸AXに直交するとともに図2の紙面に沿う方向をX軸とし、その光軸AX及び図2の紙面に直交する方向をY軸とする。また、図1及び図2においては、前記X方向における前記XYZステージ26の位置を計測する測長器27及び移動鏡29のみが示されている。

【0037】前記下部架台25上には、上部架台30が立設されている。この上部架台30には、レチクルホルダ31が前記被検投影光学系PL_eの上方において装備され、そのレチクルホルダ31上に検査用マスクとしてのテストレチクルR_tが真空吸着により保持されている。このテストレチクルR_tは、その中心が前記被検投影光学系PL_eの光軸AX上に位置するように保持されている。

【0038】また、前記上部架台30上には、前記テストレチクルR_tの上方において、そのテストレチクルR_tを所定の照明光ILで照明するための照明光学系32が配置されている。この照明光学系32は、光源33、フライアイレンズ34、リレーレンズ35、ミラー36、コンデンサレンズ37等からなっている。

【0039】前記光源33は、前記照明光ILとして、例えばKrFエキシマレーザ光、ArFエキシマレーザ光、F2キシマレーザ光等のパルス光を出射する。前記フライアイレンズ34は多数のレンズエレメントか

らなっており、その出射面上にはそれぞれのレンズエレメントに対応した多数の2次光源像が形成される。そして、この2次光源像が、リレーレンズ35、ミラー36、コンデンサレンズ37の合成系を介して、前記テストレチクルRt上に重畠され、そのテストレチクルRt上を均一な照度分布で照明するようになっている。

【0040】前記照明光学系32の下面には、シャッタ38を備えたシャッタ機構39が取着されている。このシャッタ38は、シャッタ駆動部40により前記照明光ILの光路に対して出退され、前記テストレチクルRt上への照明光ILの照射を断続する。

【0041】前記XYZステージ26上には、撮像素子(CCD)を含む撮像機構41が配置されている。この撮像機構41は、前記XYZステージ26を駆動することにより、前記被検投影光学系PLeの投影可能範囲において、XYZの三軸方向に移動されるようになっている。

【0042】その撮像機構41の受光面42と前記被検投影光学系PLeとの間には、光量変更手段としての減光板43が介在されている。この減光板43は、円板状をなし、前記照明光ILに対してそれぞれ異なる透過率を有する複数の減光フィルタ44が周方向に等角度間隔で配列されている。そして、この減光板43を減光板駆動部45により回転させることで、各減光フィルタ44が前記撮像機構41の受光面42上に対応するようになっている。そして、前記透過度の異なる減光フィルタ44を選択することにより、前記受光面42に入射する照明光ILの強度を調整するようになっている。

【0043】前記除振台23は、前記検査装置本体22を載置するための載置盤46を有し、その載置盤46の四隅に対応するように中空円筒状の脚部47が配置されている。各脚部47の内部には、所定のバネ定数を有するコイルバネ48が収容されている。このコイルバネ48の上部には、連結部材49を介して前記載置盤46が連結されている。そして、前記露光装置本体22が、設置場所の床面FLから浮遊した状態で、前記載置盤46上に載置されている。ここで、この除振台23は、前記コイルバネ48の固有振動数のみを利用して振動の除去を行う、いわゆるパッシブ除振台となっている。

【0044】次に、前記被検投影光学系PLeの結像特性を計測するための構成について説明する。図3及び図4に示すように、前記結像特性を計測する場合には、検査用パターンとしての複数のテストパターンPA1～PA4, PB1, PB2が配列形成されたテストレチクルRtを用いる。これら1組のテストパターンPA1～PA4, PB1, PB2は、テストパターン群PGを構成している。また、前記テストレチクルRt上には、このテストパターン群PGが、複数、二次元的な広がりをもって所定間隔おきに配列形成されている。本実施形態においては、前記被検投影光学系PLeの投影可能範囲においては、前記被検投影光学系PLeの投影可能範囲に

対応する前記テストレチクルRt上のパターン領域PR内において、その中心部、四隅部、その四隅部の中間、及び、前記中心部と前記四隅部との中間像高部の計13ヶ所に前記テストパターン群PGが形成されている。

【0045】前記テストパターンPA1～PA4, PB1, PB2は、透光部Pt中に複数の線状の遮光部Psが所定間隔をおいて配列形成されたL・Sの暗線パターンとなっている。前記テストパターンPA1～PA4とPB1, PB2とは、前記遮光部Psの配列周期(線幅)が異なるものとなっている。また、前記テストパターンPA1とPA2とPA3とPA4とは、また、テストパターンPB1とPB2とは、前記遮光部Psの配列方向が異なるものとなっている。

【0046】さて、図2に示すように、前記XYZステージ26を駆動するステージ駆動部28、前記照明光ILを出射する光源33、前記シャッタ38を駆動するシャッタ駆動部40、前記減光板43を駆動する減光板駆動部45は、いずれも検査装置本体22全体の動作を制御する主制御系52に接続されている。つまり、前記XYZステージ26、光源33、シャッタ38及び減光板43は、主制御系52からの指令に基づいて動作されている。

【0047】前記測長器27は、前記主制御系52を介して、計測手段としての収差検出部53内に装備された演算処理部54に接続されている。そして、前記測長器27からは、前記XYZステージ26のXY方向における位置に関する情報が前記主制御系52を介して演算処理部54に出力される。また、前記ステージ駆動系28は、前記主制御系52を介して前記演算処理部54に接続されている。そして、前記ステージ駆動系28からは、前記XYZステージ26のZ方向における位置に関する情報が前記主制御系52を介して演算処理部54に出力される。

【0048】前記撮像機構41は前記収差検出部53内に装備されたフレームメモリ55を介して前記演算処理部54に接続されている。そして、前記受光面42を介して前記撮像機構41で受光された画像に関する情報は、このフレームメモリ55に一旦蓄積された後、前記演算処理部54に入力される。前記フレームメモリ55には、前記撮像機構41におけるテストレチクルRt上のパターンの投影像の受光状態を確認するためのモニタ56が接続されている。

【0049】前記演算処理部54では、前記撮像機構41から入力される受光画像に関する情報と、前記測長器27及びステージ駆動系28から入力されるXYZステージ26の位置に関する情報に基づいて、前記被検投影光学系PLeの結像特性が計測される。

【0050】前記主制御系52には、計測対象となる前記結像特性の種類毎の前記シャッタ38の開放時間、及び、その開放時間毎に変更される減光フィルタ44の透

過度等に関する情報が格納された記憶装置57が接続されている。また、その主制御系52内には、タイマ58が装備されている。なお、主制御系52に計測対象となる結像特性の種類に応じた選択スイッチを設け、その選択スイッチで選択された結像特性に応じて、前記シャッタ38の開放時間、減光フィルタ44の透過度の情報を記憶装置57から呼び出す構成にしてもよい。

【0051】次に、前記被検投影光学系PLeの結像特性を計測動作について説明する。主制御系52は、前記ステージ駆動部28に指令して、XYZステージ26を所定位置に移動させる。これにより、前記撮像機構41の受光面42を、前記被検投影光学系PLeの投影可能範囲内に投影された前記各テストパターンPA1～PA4, PB1, PB2の投影像のいずれかに対応させる。

【0052】次いで、前記主制御系52は、前記記憶装置57から前記結像特性の種類毎にその計測に必要な情報（前記シャッタ38の開放時間、前記減光フィルタ44の透過度等）を読み出す。そして、主制御系52は、前記減光板駆動部45に対して最適な減光フィルタ44を前記受光面42上に選択配置するようを指令する。また、主制御系52は、タイマ58に前記シャッタ38の開放時間を設定する。次いで、主制御系52は、前記光源33に照明光ILの出射を指令する。

【0053】そして、主制御系52が前記シャッタ駆動部40に対して前記シャッタ38の開放を指令し、シャッタ38が開かれると同時に、前記タイマ58が計時を開始する。これにより、前記テストパターンPA1～PA4, PB1, PB2の投影像が、被検投影光学系PLeを介して前記撮像機構41の受光面42上に投影される。そして、前記投影像が、前記撮像機構41により取り込まれ蓄積される。やがて、前記タイマ58において設定された時間が経過すると、主制御系52は、シャッタ駆動部40に対し前記シャッタ38の閉止を指令するとともに、前記光源33に対し照明光ILの出射停止を指令する。これにより、前記撮像機構41における前記投影像の取り込みが停止される。

【0054】撮像機構41に取り込まれた前記投影像の画像に関する情報は、前記フレームメモリ55に一旦記憶される。これと同時に、前記演算処理部54には、前記測長器27及びステージ駆動部28からXYZステージ26の位置、つまり前記受光面42の位置に関する情報が入力される。そして、前記演算処理部54において、これらの情報に基づいて、前記被検投影光学系PLeの結像特性が計測される。

【0055】さて、前記結像特性、つまり「ザイデルの△収差」は、次の2つに大別される。一つは、前記撮像機構41で取り込まれた前記投影像における明暗のコントラストに基づいて求められる光軸方向の収差である。この光軸方向の収差には、球面収差、コマ収差、非点収差及び像面弯曲が含まれる。もう一つは、前記投影像に

おける座標位置に基づいて求められる光軸との直交方向の収差である。この直交方向の収差には、ディストーションが含まれる。

【0056】前記光軸方向の収差を計測する場合について、ベストフォーカス位置の計測方法を含めて説明する。まず、ベストフォーカス位置を測定するには、前記ステージ駆動部28により、前記XYZステージ26を前記被検投影光学系PLeの光軸AXに沿って所定間隔で段階的に移動させる。これにより、前記撮像機構41の受光面42を段階的に動かして、前記被検投影光学系PLeのフォーカス位置を変更させる。そして、前記各フォーカス位置において、計測しようとする前記結像特性毎にテストパターンPA1～PA4, PB1, PB2を適宜選択して、その投影像の検出を行う。

【0057】ここで、例えば図5(a)に示すようなテストパターンPA1を、前記撮像機構41により取り込んだとする。この場合、その投影像のベストフォーカス位置における理論的な光強度分布は、図5(b)のようになる。しかしながら、実際には、理想的な状態の被検投影光学系PLeを介した場合であっても、その前記投影像の濃淡による二値化画像から求められる光強度分布の波形は、図5(c)のようになる。そして、この光強度分布の波形は、フォーカス位置、被検投影光学系PLeに残存する収差により微妙に変化する。

【0058】前記演算処理部54において、このようにして求められるテストパターンPA1の透光部Ptを通過した光の強度分布の波形におけるメインピークMPの振幅を、各フォーカス位置毎に算出する。そして、各フォーカス位置における前記メインピークMPの振幅から、各フォーカス位置毎のコントラストを検出する。その検出結果から、フォーカス位置とコントラストとの関係曲線を算出して、最もコントラストの高くなるフォーカス位置をベストフォーカス位置とする。

【0059】前記球面収差を計測する際には、互いに線幅の異なる前記テストパターン、例えばPA1とPB1とを、あるいはPA2とPB2とを用い、各テストパターンPA1とPB1との、あるいは、PA2とPB2との投影像のベストフォーカス位置を求める。そして、それらのベストフォーカス位置の差を計測することによって、前記球面収差が求められる。

【0060】前記コマ収差を計測する際には、前記テストレチクルRt上のパターン領域PRの四隅部あるいはそれらの中間部に配置されたテストパターン群PG内のテストパターンPA1～PA4のうち少なくとも1つを使用する。そして、そのテストパターンPA1～PA4の前記ベストフォーカス位置における前記投影像の光強度分布波形のメインピークMPの両端部に発生する一対の疑似ピークSP1, SP2の強度差（ピークの高さの差）△Iを計測する。

【0061】ここで、前記被検投影光学系PLeにコマ

収差が存在しない場合には、図5(c)に示すように、前記一対の疑似ピークSP1, SP2の強度に差は発生しない。これに対して、前記被検投影光学系PLeにコマ収差が存在する場合には、図5(d)に示すように、前記一対の疑似ピークSP1, SP2にそのコマ収差量に応じた強度差 ΔI が発生する。これにより、計測された疑似ピークSP1, SP2の強度差 ΔI を、予め求められている各コマ収差量における前記疑似ピークSP1, SP2の強度差 ΔI の関係式と照合することによって、計測に供したテストパターンPA1～PA4の配列方向におけるコマ収差が求められる。

【0062】前記非点収差を求める際には、異なる四方の前記テストパターンPA1～PA4を使用する。ここで、テストパターンPA1を用いてサジタル面におけるベストフォーカス位置を、テストパターンPA2を用いてタンジェンシャル面におけるベストフォーカス位置をそれぞれ求める。また、テストパターンPA3を用いて45°方向におけるベストフォーカス位置を、テストパターンPA4を用いて135°方向におけるベストフォーカス位置をそれぞれ求める。そして、前記サジタル面とタンジェンシャル面におけるベストフォーカス位置の差、及び、前記45°方向と前記135°方向におけるベストフォーカス位置の差を計測することにより、非点収差が求められる。

【0063】前記像面湾曲を求める際には、前記テストレチクルRt上のパターン領域PRの中心部に配置されたテストパターン群PGを含む複数のテストパターン群PGについて、前記非点収差の計測を行う。そして、前記中心部に配置されたパターン群PGの各テストパターンPA1～PA4の投影像のベストフォーカス位置に対する周辺部に配置されたパターン群PGの各テストパターンPA1～PA4の投影像のベストフォーカス位置の差を計測することにより、像面湾曲が求められる。

【0064】一方、前記直交方向の収差、つまりディストーションを計測する場合には、まず前記ステージ駆動部28により、前記XYZステージ26を移動させる。これにより、図4に示す前記テストレチクルRtの中心部に位置するテストパターン群PGc中のテストパターンPA1～PA4の少なくとも1つの投影像を前記撮像機構41に対応させる。その投影像が前記撮像機構41により取り込まれ、前記フレームメモリ55に記憶されると、演算処理部54において、その投影像における光強度分布の波形から、前記投影像の重心位置を演算する。この重心位置を中心座標の位置として、前記測長器27を零リセットする。

【0065】次いで、前記XYZステージ26を、XY二軸方向で動かして、前記中心部に位置するテストパターン群PGcとは異なる他の複数のテストパターン群PG内の各テストパターンPA1～PA4のうち少なくとも1つについて、同様の投影像の重心位置の検出を逐次

行う。この際、主制御系52は、前記撮像機構41が前記投影像を取り込むのに同期して、前記測長器27に対し前記XYZステージ26のXY二軸方向の位置の計測を指令し、その計測結果を演算処理部54に入力させる。これにより、前記各テストパターン群PG内のテストパターンPA1～PA4の投影像の重心位置が、前記中心部に配置されたテストパターン群PGc内のテストパターンPA1～PA4の重心位置を原点とした座標系上の座標位置として求められる。そして、前記演算処理部54において、前記各投影像の座標位置と、前記理想格子における格子点、つまり前記被検投影光学系PLeにディストーションが存在しないと仮定した場合の各投影像の座標位置との差を計測することにより、ディストーションが求められる。

【0066】さて、本願発明者が鋭意検討した結果によれば、前記投影像のコントラストの計測においては、主に低周波数の単振動の影響により、各測定毎に前記コントラストがばらつくことを見出した。また、前記投影像の座標位置の計測においては、主に複数の前記単振動が重ね合わされて生じるさらに低周波数の合成振動の影響により、前記投影像全体がXY平面内で平行移動することを見出した。

【0067】ここで、図6に示すように、前記従来構成では、前記撮像機構41における前記投影像の受光時間は、前記合成振動のうち最低周波数の振動の周期に対して、ごく短時間である。これに対して、前記撮像機構41における前記投影像の受光時間を延長することにより、前記コントラストのばらつき及び前記座標位置の平行移動を大きく低減することができた。これは、前記低周波数の振動による投影像の揺れ動きが、その投影像の受光時間内において平均化されるためである。

【0068】そして、前記コントラストのばらつきを最も効果的に抑制するためには、前記受光時間を、前記最低周波数の振動の1/2周期にほぼ相当するか、またそれを超える時間に設定する。なお、この場合、前記受光時間が極端に長くなると前記コントラストが全体的に下がってしまう。このため、前記受光時間は、前記最低周波数の振動の1/4～3/4周期の範囲が好ましく、1/3～2/3周期の範囲がさらに好ましい。

【0069】また、前記座標位置の平行移動を最も効果的に抑制するためには、前記受光時間を、前記合成振動のうち最低周波数の振動の1周期にほぼ相当するか、またそれを超える時間、好ましくは前記最低周波数の振動の2/3～4/3周期の範囲、さらに好ましくは3/4～5/4周期の範囲に設定する。

【0070】従って、以上のように構成されたこの第1実施形態によれば、以下のような効果を得ることができる。

(イ) この第1実施形態の検査装置21では、主制御系52が、計測しようとする被検投影光学系PLeの収

差に応じて、撮像機構41におけるテストパターンPA1～PA4, PB1, PB2の投影像の受光時間を変更するようになっている。ここで、前記投影像のコントラストに基づいて計測される光軸方向の収差（球面収差、コマ収差、非点収差、像面湾曲）では、前記受光時間が計測に影響を与える合成振動の中で最低周波数の振動のおおむね1/2周期以上となるように設定される。また、前記投影像の座標位置に基づいて計測される直交方向の収差（ディストーション）では、前記受光時間が計測に影響を与える合成振動の中で最低周波数の振動のおおむね1周期以上となるように設定される。

【0071】このため、前記投影像を撮像機構41で受光する際ににおいて、前記投影像の揺れ動きにより生じる各測定毎のコントラストのばらつきや前記投影像の平行移動が平均化される。これにより、各収差の計測時における前記投影像を、常にベストの状態に形成することができ、高価ないわゆるアクティブ除振台を用いることなく前記低周波数の振動の影響を排除することができる。

【0072】従って、前記投影像に基づいて、被検投影光学系PL_eに存在する各収差を正確に計測することができる。そして、前記検査装置21における製造コストが著しく高騰したり、除振台23及びその周辺構成が複雑化、大型化したりするのを回避できる。

【0073】しかも、単にテストパターンPA1～PA4, PB1, PB2の投影像の受光時間を変更するといった簡素な構成で、低周波数の振動の影響を排除できる。従って、部品点数の増加、構成の複雑化を招くことなく、被検投影光学系PL_eの正確な検査が可能な検査装置21を実現させることができる。

【0074】(口) この第1実施形態の検査装置21では、被検投影光学系PL_eの像面上に、テストパターンPA1～PA4, PB1, PB2の投影像を受光する撮像機構41の受光面42が配置されている。このため、前記被検投影光学系PL_eの使用状態に即して、その被検投影光学系PL_eに存在する各収差を容易かつ正確に計測することができる。

【0075】(ハ) この第1実施形態の検査装置21では、撮像機構41の受光面42に入射するテストパターンPA1～PA4, PB1, PB2の投影像における光量を変更する減光板43が装備されている。

【0076】この第1実施形態では、前記投影像を、撮像機構41内に装備されたCCDにより取り込んでいる。この場合、前記投影像の蓄積時間の長さに応じて、前記減光板43によりそれを通過する前記投影像の光量を調整することで、前記CCDに到達する投影像の光量を調整することができる。従って、CCDが飽和状態となるのを回避することができ、投影光学系の結像特性を正確に計測することができる。

【0077】(第2実施形態) この第2実施形態の検査装置61においては、図7及び図8に示すように、検査

装置本体62におけるシャッタ機構39及び減光板43の配置が前記第1実施形態と異なっている。また、この検査装置本体62には、その基盤24上に振動センサ63が設けられているとともに、撮像機構64内に拡大光学系65が配備されている。

【0078】この検査装置本体62では、前記シャッタ機構39が、XYZステージ26上において、前記撮像素子64の受光面42を開閉自在に覆うように配置されている。また、前記減光板43は、前記照明光学系32内のフライアイレンズ34とリーレンズ35との間に設けられている。

【0079】また、前記振動センサ63は、前記基盤24のほぼ中央に配置され、その基盤24に作用する振動の周期を検出し、その振動の周期に関する情報を前記主制御系52に出力するようになっている。

【0080】さらに、前記拡大光学系65は、前記撮像機構64の受光面42の下方に配置され、その受光面42に入射する前記テストパターンPA1～PA4, PB1, PB2の投影像を所定の倍率に拡大するようになっている。この拡大光学系65で拡大された前記投影像は、ミラー66を介して撮像素子(CCD)67により取り込まれる。

【0081】この第2実施形態の検査装置61では、被検投影光学系PL_eの結像特性を計測する際に、前記主制御系52は、その計測対象となる結像特性の種類に加えて、前記振動センサ63から入力される前記振動の周期に関する情報に基づいて前記撮像機構64の受光面42における受光時間を設定するようになっている。言い換えると、主制御系52は、前記結像特性の計測時において、実際に検査装置本体62に作用している振動の周期と計測しようとする収差とに応じて、最適な前記シャッタ機構39の開放時間を前記記憶装置57から読み出してタイマ58に設定する。

【0082】また、この場合、計測された各収差には、前記拡大光学系65が有する収差が含まれることとなる。このため、前記拡大光学系65の収差情報を、予め前記記憶装置57に記憶しておく。そして、前記演算処理部54は、前記CCD67で取り込まれた投影像に基づいて各収差が計測されると、前記拡大光学系65の収差情報を前記主制御系52を介して前記記憶装置57から読み込む。そして、演算処理部54は、この拡大光学系65の収差情報を用いて前記計測された収差を補正し、前記被検投影光学系PL_eの結像特性を求めるようになっている。

【0083】従って、この第2実施形態によれば、前記第1実施形態における(イ)～(ハ)に記載の効果に加えて、以下のような効果を得ることができる。

(二) この第2実施形態の検査装置61では、検査装置本体62にその検査装置本体62に作用する振動の特性を検出する振動センサ63が設けられている。

【0084】このため、前記振動センサ63により、被検投影光学系PLeの結像特性の計測時において、実際に前記検査装置本体62に作用している振動の特性を検出して、その振動の特性に応じたテストパターンPA1～PA4, PB1, PB2の投影像の受光時間を設定することができる。従って、前記受光時間が過剰に設定されるのを確実に抑制することができて、前記被検投影光学系PLeの結像特性を一層正確に計測することができる。特に、前記投影像のコントラストに基づく収差の計測を、正確に行うことができる。

【0085】しかも、前記振動センサ63にて検出される振動の特性は、検査装置本体61に作用する振動の周期となっている。このため、検出された前記振動の周期に基づいて、各収差毎に前記撮像機構64の受光面42における受光時間を容易に求めることができる。

【0086】(ホ) この第2実施形態の検査装置61では、撮像機構64の受光面42とCCD67との間に拡大光学系65が介装されている。このため、前記受光面42を通過したテストパターンPA1～PA4, PB1, PB2の投影像は、前記拡大光学系65により拡大された状態でCCD67にて取り込まれる。これにより、前記CCD67における前記投影像の解像度が上昇され、その投影像が前記フレームメモリ55に一層正確な画像として記憶される。従って、前記演算処理部54における各収差の計測精度を一層向上することができる。

【0087】(第3実施形態) つぎに、本発明の投影光学系の検査方法の実施可能な露光装置を、半導体素子製造用の露光装置に具体化した第3実施形態について、前記第1実施形態の検査装置と異なる部分を中心に説明する。

【0088】この第3実施形態の露光装置71では、図9に示すように、照明光学系32の一対のリレーレンズ35の間にレチクルブラインド72が設けられている。このレチクルブラインド72は、その遮光面がレチクルRのパターン領域と共役な関係をなすように配置されている。また、レチクルブラインド72は、レチクルブラインド駆動部73により開閉可能な複数枚の可動遮光部(例えば2枚のL字型の可動遮光部)からなっている。そして、それらの可動遮光部により形成される開口部の大きさ(スリット幅等)を調整することにより、レチクルRを照明する照明領域を任意に設定するようになっている。

【0089】投影光学系PLの物体面側には、レチクルステージRSTが配置されている。このレチクルステージRSTは、テストパターンPA1～PA4, PB1, PB2が形成されたテストレチクルRt、あるいはデバイスピターンが形成されたデバイスレチクル等のレチクルRを交換可能に保持している。また、このレチクルステージRSTは、前記レチクルRを前記投影光学系PL

の光軸AXと直交するX方向において微動可能に保持している。さらに、レチクルステージRSTは、リニアモータ等で構成されたレチクルステージ駆動部74により所定の方向(走査方向(Y方向))に移動可能となっている。

【0090】このレチクルステージRSTは、レチクルRの全面が少なくとも照明光ILの光軸を横切ることができるように移動ストロークを有している。なお、図9においては、前記投影光学系PLの光軸AXに沿う方向をZ方向、前記投影光学系PLの光軸AX及び紙面と直交する方向をX方向、前記投影光学系PLの光軸に直交し紙面に沿う方向をY方向とする。

【0091】前記レチクルステージRSTの端部には、レーザ干渉測長器75からのレーザ光を反射する移動鏡76が固定されている。この測長器75によって、レチクルステージRSTのY方向の位置が常時検出され、その位置に関する情報は、主制御部52に出力される。そして、主制御系52は、前記レチクルステージRSTの位置情報に基づいてレチクルステージ駆動部74を制御し、レチクルステージRSTを移動させる。

【0092】前記レチクルRを通過した照明光ILは、前記投影光学系PLに入射する。この投影光学系PLは、その像面上に前記レチクルR上のパターンを例えば1/5あるいは1/4に縮小した投影像を形成する。

【0093】その投影光学系PLの像面側には、ウエハステージWSTが配置されている。そのウエハステージWST上には、表面に前記照明光ILに対して感光性を有するフォトレジストが塗布された基板としてのウエハWがウエハホルダ77を介して載置保持されている。このウエハホルダ77は、図示しない駆動部により、前記投影光学系PLの最適結像面に対し、任意方向に傾斜可能で、かつ投影光学系PLの前記光軸AX方向(Z方向)に微動可能になっている。

【0094】前記ウエハステージWSTは、ウエハステージ駆動部78により、前記走査方向(Y方向)の移動のみならず、前記ウエハW上に区画された複数のショット領域に対し任意に移動できるように前記走査方向と直交する方向(X方向)にも移動可能に構成されている。これにより、ウエハW上に区画された各ショット領域毎に、一括露光を繰り返すステップ・アンド・リピート動作と、走査露光を繰り返すステップ・アンド・スキャン動作とが可能になっている。

【0095】前記ウエハステージWSTの端部には、測長器27からのレーザ光を反射する移動鏡29が固定されており、ウエハステージWSTのX方向及びY方向の位置は測長器27によって常時検出される。ウエハステージWSTの位置情報(または速度情報)は主制御系52及びその主制御系52を介して演算処理部54に入力される。主制御系52は、この位置情報(または速度情報)に基づいて前記ウエハステージ駆動部74を制御す

る。

【0096】ここで、ステップ・アンド・リピート方式でレチクルR上のパターンをウエハW上の所定の露光領域（ショット領域）に一括露光する場合には、レチクルR上の照明領域が、前記レチクルブラインド72でほぼ正方形に整形される。そして、前記レチクルRとウエハWとともに静止した状態で、この照明領域内におけるレチクルR上のパターンの像が、前記投影光学系PLを介して前記ウエハW上のショット領域に一括投影される。

【0097】一方、ステップ・アンド・スキャン方式でレチクルR上のパターンをウエハW上のショット領域に走査露光する場合には、レチクルR上の照明領域が、前記レチクルブラインド72で長方形（スリット）状に整形される。この照明領域は、レチクルR側の走査方向（+Y方向）に対して垂直方向に長手方向を有するものとなっている。そして、レチクルRを露光時に所定の速度V_rで走査することにより、前記レチクルR上の回路パターンを前記スリット状の照明領域で一端側から他端側に向かって順次照明する。これにより、前記照明領域内におけるレチクルR上のパターンが、前記投影光学系PLを介してウエハW上に投影され、投影領域が形成される。

【0098】ここで、ウエハWはレチクルRとは倒立結像関係にあるため、前記レチクルRの走査方向とは反対方向（-Y方向）に前記レチクルRの走査に同期して所定の速度V_wで走査される。これにより、ウエハWのショット領域の全面が露光可能となる。走査速度の比V_w/V_rは正確に投影光学系PLの縮小倍率に応じたものになっており、レチクルR上の回路パターンがウエハW上の各ショット領域上に正確に縮小転写される。

【0099】前記ウエハステージWSTの上方には、前記投影光学系PLを挟むように、一对の送光系79と受光系80とからなるフォーカス位置検出系81が配設されている。前記送光系79は、前記ウエハWの表面に対して前記フォトレジストが感光しない波長の計測光を斜めに出射する。前記受光系80は、その計測光のウエハWの表面からの反射光を受光して、その反射光の受光位置に基づいて前記ウエハW表面のフォーカス位置（Z方向における位置）が検出される。そして、検出された前記フォーカス位置に関する情報は、主制御系52及びその主制御系52を介して前記収差検出部53の演算処理部54に入力される。

【0100】また、図9及び図10に示すように、前記投影光学系PLの結像特性を計測するための撮像機構84は、前記ウエハステージWST上の取付凹部85において、その表面86が前記ウエハWの表面の高さとはほぼ一致するように着脱可能に装備されている。この撮像機構84の表面86上には、前記各テストパターンPA1～PA4, PB1, PB2の1本の遮光部Psの大き

さにはほぼ対応するように複数の受光面としてのスリット87が開口されている。撮像機構84内の前記各スリット87と対応する位置に撮像素子（CCD）88が配置されている。このCCD88は、前記フレームメモリ54に接続されている。

【0101】この撮像機構84においては、次のようにテストパターンPA1～PA4, PB1, PB2の投影像の取り込みが行われる。すなわち、図9及び図11に示すように、まず、ウエハステージWSTを移動させて、前記撮像機構84のスリット87を前記投影光学系PLの投影可能範囲内に投影された前記各テストパターンPA1～PA4, PB1, PB2のいずれかの近傍の走査開始位置P1に配置させる。次いで、前記主制御系52は、前記記憶装置57から計測しようとする収差毎に予め記憶されている前記投影像とスリット87との相対移動速度を読み出す。そして、主制御系52は、前記ウエハステージ駆動部78に対して、ウエハステージWSTの移動を指令すると、スリット87が前記投影像に対してその遮光部Psに対応する投影像Ps'の配列方向に沿って前記相対移動速度をもって、走査終了位置P2へと移動する。

【0102】これにより、前記遮光部Psに対応する投影像Ps'が、順次前記スリット87上を通過することになって、前記CCD88において前記投影像が取り込まれる。そして、前記収差検出部53において、前記第1実施形態と同様に、取り込まれた投影像に基づいて投影光学系PLの結像特性が計測される。このように、この第3実施形態では、撮像機構84のスリット87におけるテストパターンPA1～PA4, PB1, PB2の投影像の受光時間を、計測しようとする収差毎に、その投影像と前記スリット87との相対移動速度を変えることにより変更する構成となっている。

【0103】また、この第3実施形態の露光装置では、前記撮像機構84のスリット87に入射する投影像における光量調整を、主制御系52からの指令により照明光ILを射出する光源33に対して前記照明光ILのパルス数を変更して行うようになっている。ここでは、光源33が光量変更手段を構成している。

【0104】さらに、図9に示すように、主制御系52には、前記収差検出部53の演算処理部54において計測された各収差に基づいて、前記投影光学系PLの結像特性を制御する結像特性制御部89が接続されている。この結像特性制御部89には、前記投影光学系PLの鏡筒90内に収容された複数のレンズエレメント91の間隔を変更するための、ピエゾ素子等からなる駆動素子92が接続されている。また、この結像特性制御部89には、前記投影光学系PLの鏡筒90内の圧力を調整するための圧力制御部93が接続されている。そして、これらの結像特性制御部89、駆動素子92及び圧力制御部93により補正手段が構成されている。

【0105】ここで、前記主制御系52は、入力された前記投影光学系PLの各収差の情報に基づいて、前記結像特性制御部89に対し、前記各駆動素子92及び圧力制御部93の駆動を指令する。これにより、前記各レンズエレメント91の相対位置が変更されるとともに、投影光学系PLの鏡筒90内の圧力が調整され、前記投影光学系PLの結像特性が補正されるようになっている。

【0106】従って、この第3実施形態によれば、前記第1実施形態における(イ)～(ハ)に記載したのとほぼ同様の効果に加えて、以下のような効果を得ることができる。

【0107】(ヘ) この第3実施形態の露光装置71では、収差検出部53で計測された収差に基づいて投影光学系PLの結像特性が補正されるようになっている。このため、高価なアクティブ除振装置を用いることなく、投影光学系PLに存在する各収差を正確に計測することができるとともに、その投影光学系PLの結像特性を正確に補正することができる。従って、レチクルR上に形成されたパターンを正確にウエハW上に投影転写することができて、製品ウエハにおける歩留まりを向上させることができる。

【0108】(ト) この第3実施形態の露光装置71では、撮像機構84のスリット87に入射する投影像における光量調整を、主制御系52からの指令により照明光ILを出射する光源33に対して前記照明光ILのパルス数を変更して行うようになっている。

【0109】このため、前記撮像機構84のスリット84を介した前記投影像の受光時間が延長された場合において、部品点数の増大及び構成の複雑化を招くことなく、CCD88が飽和状態となるのを回避することができる。

【0110】(変更例) なお、本発明の実施形態は、以下のように変更してもよい。

- ・ 前記各実施形態では、テストパターンPA1～PA4, PB1, PB2として、透光部Pt中に複数の線状の遮光部Psが所定間隔で配列された暗線パターンを用いている。これに対して、テストパターンPA1～PA4, PB1, PB2として、遮光部Ps中に複数の線状の透光部Ptが所定間隔で配列された明線パターンを用いてもよい。

【0111】このように構成しても、前記各実施形態とほぼ同様な効果を得られる。特に、第3実施形態においては、前記テストパターンPA1～PA4, PB1, PB2の投影像と撮像機構84のスリット87とを相対移動させ、前記投影像を前記スリット87を介してCCD88で取り込むことにより、投影光学系PLの結像特性に関する情報を得るようになっている。このため、第3実施形態において、この明線パターンを用いた場合、前記スリット87が走査開始位置P1及び走査終了位置P2に配置されときに、そのスリット87を前記投影像の

遮光部Psに対応する部分に一致させることができる。これにより、前記走査開始位置P1及び走査終了位置P2では、前記CCD88で受光される光束は、ほとんど存在しない。従って、シャッタ機構39を必要とせず、露光装置71の構成及び制御の簡略化を図ることができる。

【0112】・ 前記各実施形態では、テストパターンPA1～PA4, PB1, PB2の投影像を撮像機構41, 64, 84にて取り込んで画像処理することにより、投影光学系PLe, PLの各収差を計測する構成とした。これに対して、テストパターンPA1～PA4, PB1, PB2の像を、投影光学系PLe, PLを介して、フォトレジストの塗布されたウエハW上に焼き付ける。そして、焼き付けられた前記パターンの像を現像し、その現像されたパターン像を電子顕微鏡等により目視観察して、前記投影光学系の各収差を計測するとしてもよい。

【0113】このように構成しても、前記(ホ)を除いて、前記各実施形態とほぼ同様の効果が得られる。

- ・ 前記各実施形態では、照明光ILをエキシマレーザ光等のパルス光としたが、例えばg線、h線、i線等の可視光または紫外光の輝線、金属蒸気レーザ光、YAGレーザ光、固体レーザ光、ファイバーレーザ光等の連続レーザ光の高調波、極遠紫外光等の連続光としてもよい。

【0114】このように構成しても、前記(ト)を除いて、前記各実施形態とほぼ同様の効果が得られる。・

前記各実施形態では、撮像素子としてCCD67, 88を採用したが、例えばBBD形、CID形、CPD形、MOS形、PCD形等のイメージセンサ、フォトマル、ラインセンサ等を採用してもよい。

【0115】このようにしても、前記各実施形態とほぼ同様の効果が得られる。

- ・ 前記各実施形態では、撮像機構41, 64, 84の受光面42あるいはスリット87に入射する投影像における光量調整を、減光フィルタ44を変更すること、あるいは、光源33から出射される照明光ILのパルス数を変更することにより行っている。これに対して、例えば所定ピッチで透光部と遮光部とが形成された複数枚の格子板を、その格子のピッチ方向において相対移動可能に重ねて配置したグレーチング方式のエネルギー変調器を用いて、前記光量調整を行うようにしてもよい。また、両面に反射防止コーティングを施した2枚の照明光ILに対して透明な光学素子板を、照明光ILに対する傾斜角が対称かつ変更可能になるように配置し、その傾斜角を変更することにより照明光ILのエネルギーを変更するエネルギー変調器等を用いて、前記光量調整を行うようにしてもよい。

【0116】このように構成しても、前記各実施形態とほぼ同様の効果が得られる。

- ・ また、前記第2実施形態において、振動を受けない

状態での振動センサ63からの出力信号を、リファレンス値として予め主制御系52または記憶装置57に記憶させておく。そして、前記振動センサ63からの出力信号、つまり基盤24に作用する振動の周期が前記リファレンス値から所定の範囲にあるときの一一定時間に、テストパターンPA1～PA2, PB1, PB2の投影像を撮像機構64により取り込む。このようにして取り込んだ投影像に基づいて、被検投影光学系PLeの結像特性を計測するようにしてもよい。この場合、その結像特性の計測が振動の少ない状態で行われるため、撮像機構64における受光時間は、前記各実施形態と同様に延長してもよいし、前記撮像機構64で十分な解像力が得られる程度に短縮してもよい。

【0117】また、前記撮像機構64により、常時前記テストパターンPA1～PA2, PB1, PB2の投影像を、前記撮像機構64で十分な解像力が得られる程度の短時間の受光で取り込み、フレームメモリ55に格納する。この投影像の取り込みに同期した前記振動センサ63からの出力信号も、同時にフレームメモリ55に格納する。そして、前記振動センサ63からの出力信号が、前記リファレンス値から所定の範囲にあるときにおける前記投影像を前記フレームメモリ55から抽出して、前記被検投影光学系PLeの結像特性を計測してもよい。

【0118】これらのように構成すれば、検査装置本体62に作用する振動に、ノイズ成分が重畳され、前記振動の周期が一定でないような場合にも、正確な収差の測定を行うことができる。

【0119】また、前記第2実施形態では、予め記憶装置57に予め記憶させておいた拡大光学系65の収差を用いて、CCD67で取り込まれた投影像に基づいて計測される収差を補正するようになっている。これに対して、例えば拡大光学系65を所定角度だけ回転させる回転機構を設けて、前記拡大光学系65を180°異なる位置に配置して、それぞれについて前記結像特性の計測を行う。そして、その2回の計測結果の平均を求めることで、前記拡大光学系65の収差の影響を排除するようにしてもよい。これと同様に、前記被検投影光学系PLeを回転させて、その結像特性の計測を行い、その計測結果の平均を求めることで、前記拡大光学系65の収差の影響を排除するようにしてもよい。

【0120】このように構成しても、前記第2実施形態とほぼ同様の効果が得られる。

また、前記第3実施形態では、撮像機構84のスリット87におけるテストパターンPA1～PA4, PB1, PB2の投影像の受光時間を、計測しようとする収差毎に、その投影像と前記スリット87との相対移動速度を変えることにより変更した。これに対して、主制御系52内にカウンタを装備し、前記相対移動速度は常時一定として、計測しようとする収差毎にそのカウンタの

計数のもとで前記投影像と前記スリット87との相対移動の回数を変えることによって、前記投影像の受光時間を変更してもよい。

【0121】また、前記第3実施形態では、前記テストパターンPA1～PA4, PB1, PB2の投影像を静止状態とし、ウエハステージWSTを移動させることにより、撮像機構84のスリット87を移動させ、前記投影像を前記スリット87を介してCCD88で取り込むようにしている。これに対して、前記スリット87を静止状態とし、前記レチクルステージRSTを移動させることにより前記投影像を移動させて、その投影像を取り込むようにしてもよい。また、両ステージRST, WSTを同期させつつ相対移動させることにより、前記投影像と前記スリット87とを相対移動させて前記投影像を取り込むようにしてもよい。

【0122】また、第3実施形態では、前記テストパターンPA1～PA4, PB1, PB2の投影像を撮像機構84の表面86上に形成されたスリット87を介してCCD88で取り込むようになっている。これに対して、前記撮像機構84の表面86に、例えば矩形状の開口を設け、その開口と前記投影像とを相対移動させつつ、前記投影像を前記開口を介してCCD88で取り込むようにしてもよい。

【0123】また、前記第3実施形態では、レチクルR上のパターンの像をウエハW上に縮小投影する投影光学系PLを有する露光装置における具体例を示した。これに対して、本発明は、前記パターンの像を前記ウエハW上に等倍投影あるいは拡大投影する投影光学系を有する露光装置に具体化してもよい。

【0124】また、前記第3実施形態では、半導体素子製造用の露光装置における具体例を示した。これに対して、本発明は、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド、撮像素子等の他のマイクロデバイス製造用の、あるいは、レチクル、フォトマスク等のマスク製造用の露光装置に具体化してもよい。

【0125】これらのように構成しても、前記第3実施形態とほぼ同様の効果を得られる。さらに、投影光学系PL, PLeは、全ての光学素子が屈折系のレンズで構成されるものに限られず、反射素子(ミラー)で構成されるものや、屈折系のレンズと反射素子とからなる反射屈折系であってもよい。また、縮小系に限られず、等倍系、拡大系であってもよい。

【0126】前記各実施形態の検査装置21, 61及び露光装置71は、本願特許請求の範囲に挙げられた各構成要素を含む各種サブシステムを、所定の機械的精度、電気的精度、光学的精度を保つように、組み立てることで製造される。これら各種精度を確保するために、この組み立ての前後には、各種光学系については光学的精度を達成するための調整、各種機械系については機械的精度を達成するための調整、各種電気系については電気的

精度を達成するための調整が行われる。各種サブシステムから検査装置21, 61及び露光装置71への組み立て工程は、各種サブシステム相互の、機械的接続、電気回路の接続、気圧回路の配管接続等が含まれる。この各種サブシステムから検査装置21, 61及び露光装置71への組み立て工程の前に、各サブシステム個々の組み立て工程があることはいうまでもない。各種サブシステムの検査装置21, 61及び露光装置71への組み立て工程が終了したら、総合調整が行われ、検査装置21, 61及び露光装置71全体としての各種精度が確保される。なお、検査装置21, 61及び露光装置71の製造は、温度及びクリーン度等が管理されたクリーンルームで行なうことが望ましい。

【0127】半導体デバイスは、デバイスの機能・性能設計を行うステップ、この設計ステップに基づいたレチクルRを製作するステップ、シリコン材料からウエハWを製作するステップ、前記実施形態の露光装置71によりレチクルRのパターンをウエハWに露光するステップ、デバイス組み立てステップ(ダイシング工程、ボンディング工程、パッケージ工程を含む)、検査ステップ等を経て製造される。なお、複数のレンズから構成される照明光学系、投影光学系PLを露光装置71本体に組み込み光学調整をするとともに、多数の機械部品からなるレチクルステージRSTやウエハステージWSTを露光装置71本体に取り付けて配線や配管を接続し、さらに総合調整(電気調整、動作確認等)することにより前記実施形態の露光装置71を製造することができる。露光装置71の製造は、温度及びクリーン度等が管理されたクリーンルームで行なうことが望ましい。

【0128】次に、さらに前記各実施形態及び変更例から把握できる技術的思想について、それらの効果と共に以下に記載する。

(1) 前記振動の特性が、少なくとも前記振動の周期を含む場合には、前記振動の周期に基づいて、結像特性毎の受光面における最適な受光時間を、容易に求めることができるという効果が得られる。

【0129】(2) 前記照明光がパルス光であり、前記光量変更手段は前記パルス光を出射する光源に対して前記パルス光のパルス数を制御する場合には、撮像素子を用いた場合において、部品点数の増大及び構成の複雑化を招くことなく、前記撮像素子が飽和状態となるのを回避できるという効果が得られる。

【0130】

【発明の効果】以上詳述したように、本願請求項1及び請求項6に記載の発明によれば、各結像特性の種類毎に、また検査装置に作用する振動の特性毎に、検査用パターンの投影像をベストの状態に形成することができる。従って、高価な除振装置を用いることなく、投影光学系の検査時における低周波数の振動の影響を排除することができ、投影光学系の結像特性を正確に計測するこ

とができる。

【0131】また、本願請求項2に記載の発明によれば、前記請求項1に記載の発明の効果に加えて、実際に検査装置に作用している振動の特性に応じて、検査用パターンの投影像の投影時間を設定することで、投影光学系の結像特性を一層正確に計測することができる。

【0132】また、本願請求項3に記載の発明によれば、前記請求項1または請求項2に記載の発明の効果に加えて、投影光学系の使用状態に即して、前記投影光学系の結像状態の計測を容易かつ正確に行なうことができる。

【0133】また、本願請求項4に記載の発明によれば、前記請求項3に記載の発明の効果に加えて、単に検査用パターンの投影像の受光時間を変更するといった簡単な構成で低周波数の振動の影響を排除できる。従って、部品点数の増加、構成の複雑化を招くことなく、投影光学系の正確な検査を行なうことができる。

【0134】また、本願請求項5に記載の発明によれば、前記請求項1～請求項4のうちいずれか一項に記載の発明の効果に加えて、例えば撮像素子を用いて検査用パターンの投影像を受光する場合、その撮像素子が飽和状態となるのを回避することができる。従って、投影光学系の結像特性を正確に計測することができる。

【0135】また、本願請求項7に記載の発明によれば、高価な除振装置を用いることなく、投影光学系の結像特性を正確に計測することができて、正確な露光動作を確保することができる。従って、製品基板における歩留まりを向上させることができる。

【0136】また、本願請求項8に記載の発明によれば、マスク上の回路パターンを正確に基板上に転写することができて、製品基板における歩留まりを向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 第1実施形態の投影光学系の検査装置を示す一部切欠正面図。

【図2】 図1の検査装置を示す概略構成図。

【図3】 テストパターンを拡大して示す平面図。

【図4】 テストレチクルを示す平面図。

【図5】 テストパターンの投影像の画像処理に関する説明図。

【図6】 振動の周期と受光時間との関係を示す説明図。

【図7】 第2実施形態の投影光学系の検査装置を示す一部切欠正面図。

【図8】 図7の検査装置を示す概略構成図。

【図9】 第3実施形態の露光装置を示す概略構成図。

【図10】 図9の要部を拡大して示す部分断面図。

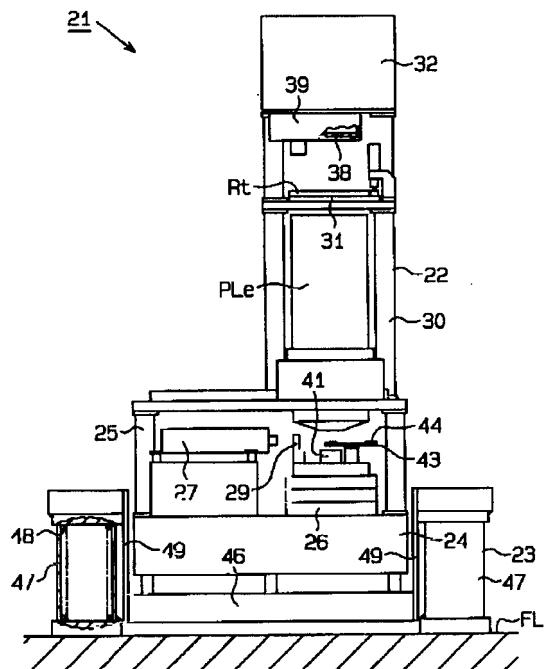
【図11】 投影像とスリットとの相対移動に関する説明図。

【符号の説明】

21, 61…検査装置、32…照明光学系、33…光量
変更手段を構成する光源、42…受光面、43…光量変
更手段を構成する減光板、52…制御手段を構成する主
制御系、53…計測手段を構成する収差検出部、63…
検出手段としての振動センサ、71…露光装置、87…
受光面としてのスリット、89…補正手段の一部を構成
する結像特性制御部、92…補正手段の一部を構成する

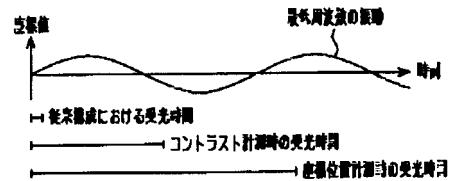
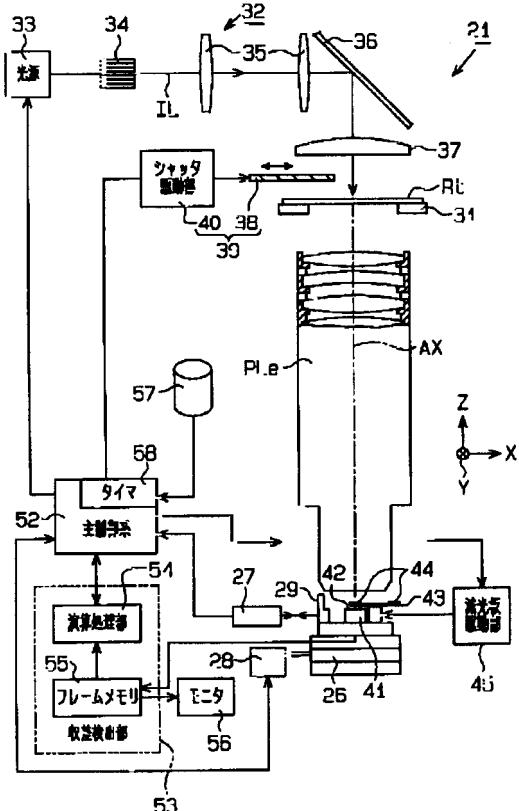
駆動素子、93…補正手段の一部を構成する圧力制御部、PA1～PA4、PB1、PB2…検査用パターンとしてのテストパターン、PL…投影光学系、PLe…投影光学系としての被検投影光学系、R…マスクとしてのレチクル、Rt…検査用マスクとしてのテストレチクル、W…基板としてのウエハ。

【図1】

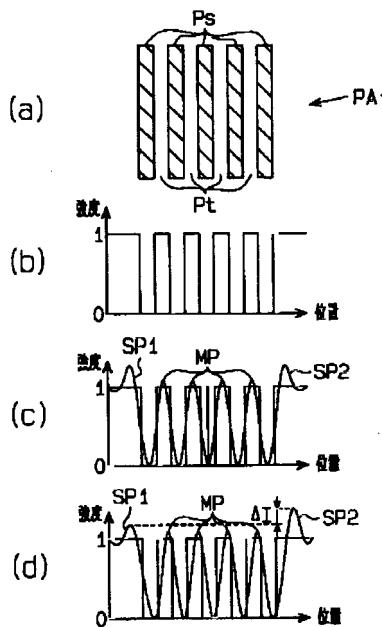


[図3]

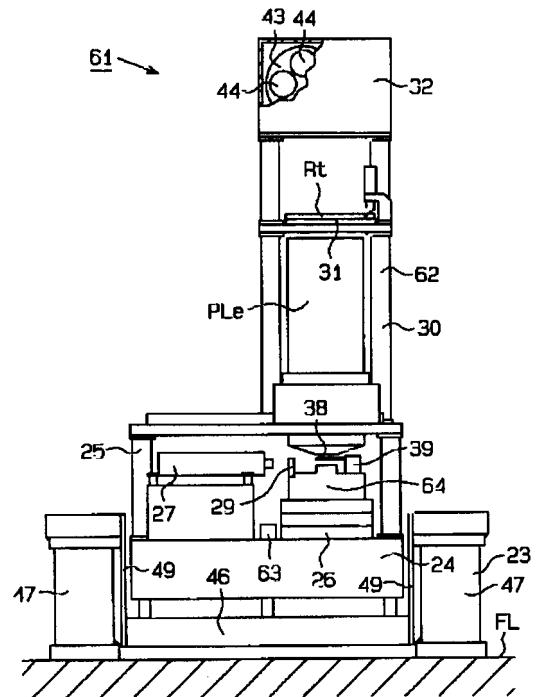
【図2】



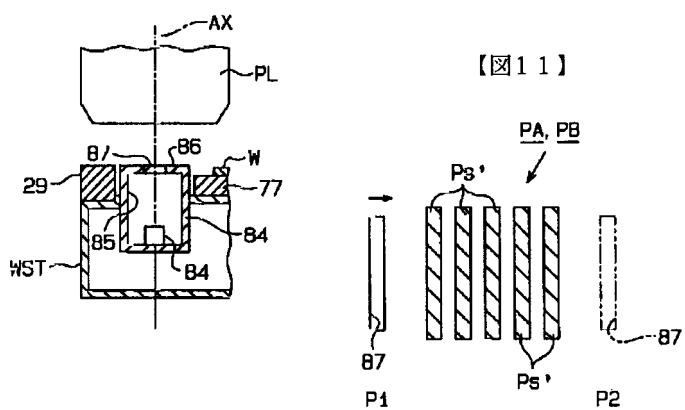
【図5】



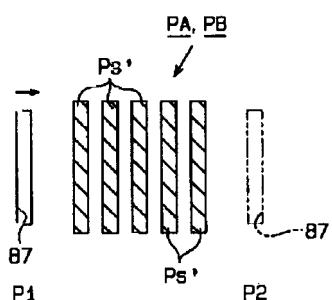
【図7】



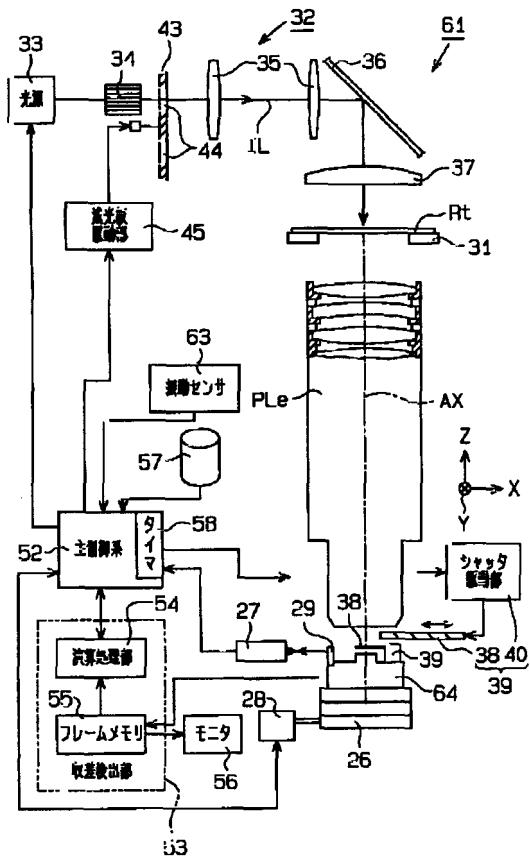
【図10】



【図11】



【図8】



【図9】

